

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1909-1910. — N° 2

RECHERCHES SUR LA MESURE
DES
QUANTITÉS DE RAYONS X
par la Méthode électroscopique

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 23 Novembre 1909

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

AUGUSTE JAUBERT DE BEAUJEU

Né le 31 Janvier 1885, à GAP (Htes-Alpes)

Licencié ès Sciences

Préparateur de Physique médicale à l'Université de Lyon

LILLE

IMPRIMERIE & LIBRAIRIE CAMILLE ROBBE, ÉDITEUR

209, Rue Léon-Gambetta, 209

1909

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1909-1910. — N° 2

RECHERCHES SUR LA MESURE

DES

QUANTITÉS DE RAYONS X

par la Méthode électroscopique

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 25 Novembre 1909

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

AUGUSTE JAUBERT DE BEAUJEU

Né le 31 Janvier 1885, à GAP (Htes-Alpes)

Licencié ès Sciences

Préparateur de Physique médicale à l'Université de Lyon



LILLE

IMPRIMERIE & LIBRAIRIE CAMILLE ROBBE, ÉDITEUR

209, Rue Léon-Gambetta, 209

1909

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. HUGOUNENQ	DOYEN
J. COURMONT	ASSESEUR
LORTET	DOYEN HONORAIRE

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. CHAUVEAU, AUGAGNEUR, MONOYER, SOULIER, TRIPIER, CAZENEUVE

PROFESSEURS

Cliniques médicales.	}	MM. LÉPINE
		TEISSIER
	}	BARD
Cliniques chirurgicales.		PONCET
	}	JABOULAY
Clinique obstétricale et Accouchements		FABRE
Clinique ophtalmologique		ROLLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques		NICOLAS
Clinique des maladies mentales		PIERRET
Clinique des maladies des enfants		WEILL
Clinique des maladies des femmes		POLLOSSON (A.)
Physique médicale		CLUZET
Chimie médicale et pharmaceutique		HUGOUNENQ
Chimie organique et Toxicologie		X...
Matière médicale et Botanique		BEAUVISAGE
Parasitologie et Histoire naturelle médicale		GUIART
Anatomie.		TESTUT
Anatomie générale et Histologie		RENAUT
Physiologie		MORAT
Pathologie interne		ROQUE
Pathologie et Thérapeutique générales		COLLET
Anatomie pathologique		PAVIOT
Médecine opératoire		POLLOSSON (M.)
Médecine expérimentale et comparée		ARLOING
Médecine légale		LACASSAGNE
Hygiène		COURMONT (J.)
Thérapeutique		PIC
Pharmacologie		FLORENCE

PROFESSEURS ADJOINTS

Physiologie, cours complémentaire	MM. DOYON
Maladies des oreilles, du nez et du larynx	LANNOIS
Pathologie externe	VALLAS
Maladies des voies urinaires	ROCHET

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Propédeutique chirurgicale	MM. BÉRARD, agrégé
Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN, —
Chirurgie infantile	NOVE-JOSSERAND, agrégé.
Accouchements	COMMANDEUR, agrégé
Matière médicale	MOREAU, —
Embryologie	REGAUD, —
Anatomie topographique	PATEL, —

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
BARRAL	REGAUD	LÉPINE (J.)	MOUNEYRAT
SAMBUC	COMMANDEUR	LESIEUR	LATARGET, ch.
COURMONT (P.)	GAYET	Étienne MARTIN	BERIEL, ch.
CHATIN	MOREL	LAROYENNE	BRETIN, ch.
VILLARD	NEVEU-LEMAIRE	VORON	THEVENOT, ch.
TIXIER	PATEL	NOGIER	

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. CLUZET, *Président*; GOUY, *Assesseur* ;

MM. REGAUD et NOGIER *Agrégés*.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A MON PÈRE ET A MA MÈRE

J'adresse l'expression de mon respect et de ma reconnaissance à

M. le Professeur PAVIOT

M. le Professeur NICOLAS

M. le Professeur agrégé BORDIER

M. le Professeur agrégé TIXIER

qui se sont montrés bienveillants pour moi pendant la durée de mes études médicales.

A notre Président de Thèse :

M. LE DOCTEUR CLUZET

Docteur ès-Sciences,

Professeur de Physique médicale à l'Université de Lyon.

Nous lui sommes profondément reconnaissant de l'intérêt qu'il a porté à notre travail. Nous le remercions vivement des conseils et encouragements qu'il nous a toujours prodigués.

A MM. les Membres de notre Jury de Thèse :

M. GOUY

Correspondant de l'Institut,

Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

M. LE DOCTEUR REGAUD

Professeur agrégé à la Faculté de Médecine.

M. LE DOCTEUR NOGIER

Professeur agrégé de Physique médicale.

qui, soit à l'hôpital, soit à la Faculté, nous a donné les marques de sa sympathie. Nous tenons à lui exprimer ici toute notre gratitude.

INTRODUCTION

A la suite d'expériences faites au Laboratoire de Physique de la Faculté de Médecine de Lyon, nous avons été amené à nous servir de l'électroscope pour mesurer, dans diverses circonstances, les quantités de rayons X. Pour cette mesure on a surtout utilisé dans ces dernières années l'action des rayons X sur les corps fluorescents, la plaque photographique ou certains réactifs chimiques, mais il nous a semblé que la méthode électrique, d'ailleurs la plus ancienne, est intéressante et ne mérite pas un oubli complet.

Ce sont les résultats de nos recherches que nous publions dans ce travail.

Dans la première partie, après avoir justifié expérimentalement l'emploi de l'électroscope pour la mesure des quantités de rayons X, nous étudierons comment cette quantité varie avec l'intensité et le voltage du courant qui traverse l'ampoule radiogène. Nous signalerons l'application des résultats trouvés à la photométrie des ampoules. La deuxième partie sera consacrée à l'étude de l'absorption et de la transmission des rayons X par l'Aluminium. Nous serons ainsi conduit à rechercher la composition d'un faisceau de rayons X. L'instrumentation, étant à peu près la même pour les deux parties, sera décrite au début.

Enfin, un aperçu historique précèdera chaque partie.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

Historique.

Peu après la découverte des rayons X par Röntgen, en 1895, Benoist et Hurmuzescu signalaient l'action des nouvelles radiations sur les corps électrisés et proposaient l'électroscope comme moyen d'étude de ces rayons : ils observaient le temps que mettait l'électroscope à se décharger quand il était touché par les rayons X, et l'inverse de ce temps leur donnait la quantité de rayons qui tombaient sur l'appareil. Par cette méthode, ces auteurs ont démontré que le rayonnement suit sensiblement la loi du carré des distances et ont prouvé l'hétérogénéité d'un faisceau de rayons X.

H. Dufour, à Lausanne, Righi, à Bologne, J. J. Thomson, à Cambridge, signalaient presque en même temps cette propriété et préconisent l'électroscope ou l'électromètre comme instrument de mesure. Röntgen connaissait cette propriété, mais ne l'avait pas publié dans ses premiers mémoires.

Au sujet de cette méthode, Benoist et Hurmuzescu écrivent dans le *Journal de Physique* (Mars 1896) : « Nous avons donc ainsi à notre disposition une méthode nouvelle d'investigation applicable à l'étude de ces rayons et devant permettre d'obtenir, sur leur véritable nature, des indications importantes ». Depuis, l'électroscope a été employé dans un grand nombre de recherches sur ce sujet, concurremment avec les méthodes radiographiques et fluoroscopiques.

Perrin arrive à cette conclusion que la décharge des corps électrisés par les rayons X était due à la superposition de deux phénomènes : l'effet gaz et l'effet métal. Il prend pour unité de quantité de rayons X celle qui, dans l'air, sous la pression de 76 centimètres, libère dans une couche sphérique cintrée sur la source et de 1 centimètre d'épaisseur, une unité électrostatique.

Mac Clelland, Child, Villari, dans diverses recherches, se sont servi de la méthode électrométrique.

Dès 1897, Sagnac signale les rayons secondaires et tertiaires; il vérifie ses expériences par les trois méthodes radiographiques, fluoroscopiques et électrométriques. Voici l'opinion de cet auteur sur la méthode électrique : « La méthode électrique permet d'observer immédiatement, avec précision, des effets que la méthode radiographique enregistre seulement après un certain temps de pose, quelquefois assez long, la rapidité avec laquelle se font les observations électriques, une demi-minute par exemple, permet d'effectuer une série de mesures sans que la nature ni l'intensité des rayons X soit modifiée, et l'on s'assure facilement qu'il en est ainsi en croisant régulièrement ces observations de courte durée ». (*J. de Chimie et Physique*, 1901).

La même année, le promoteur de la méthode électrique, Benoist, abandonna cette méthode pour celle de l'écran fluorescent « La méthode » électrométrique, dit-il, qui depuis que nous l'avons fait connaître, a « rendu de nombreux services, soit à d'autres, soit à nous-même, pré-sentait, à cause de sa sensibilité même, trop de lenteur pour une » exploration aussi étendue » (*J. de Physique*, 1901).

Barkla a employé la méthode électrométrique; dans ses recherches, il limite le faisceau de rayons X par deux fenêtres, dont l'une est mobile; l'intensité totale du faisceau qui passe est sensiblement proportionnelle à la largeur de la fente mobile qui est la plus éloignée du tube.

Haga, pour étudier la polarisation des rayons de Röntgen et des rayons secondaires, a fait usage d'électroscopes.

Il semble que les médecins qui, cependant, ont fait un si large emploi de la découverte de Röntgen aient délaissé le procédé de mesure électrométrique pour se servir de préférence des procédés chimiques ou photométriques.

Haret, rapporteur au *Congrès international d'électrologie et de radiologie* (1908, Amsterdam), s'exprime en ces termes : « On sait que les » rayons de Röntgen ont le pouvoir d'ioniser l'air; en mesurant la » conductibilité de l'air sous l'effet du rayonnement, on peut donc » acquérir une certaine notion concernant l'intensité de ce rayonnement, » mais cette méthode appliquée vis-à-vis des corps radioactifs est une » méthode réservée aux laboratoires, tant par la complexité des appa-reils nécessaires que par leur maniement délicat ».

Plus loin, dans son rapport, cet auteur décrit un quantitomètre électrique de M. Villard. C'est cette année là seulement que ce savant

proposa aux médecins le premier appareil de mesure basé sur l'action ionisante des rayons X. Le principe de cet appareil est le suivant :

« Une électrode reliée à l'aiguille d'un électromètre est placée dans une
» boîte maintenue à un potentiel constant et pourvue d'une ouverture
» pour l'admission des rayons. Cette ouverture est, bien entendu, recou-
» verte d'une mince feuille conductrice. Sous l'action ionisante des
» rayons, le potentiel commun de la lame et de l'aiguille se rapproche
» de celui de la boîte. L'aiguille dévie, s'éloigne de la paire de quadrants
» et vient toucher, au moyen d'une tige, un contact relié à une autre
» paire de quadrants. La charge de l'aiguille est inversée, ce qui la
» ramène aussitôt à sa première position, d'où elle repartira quand une
» nouvelle dose de rayons aura rétabli le potentiel nécessaire à un
» nouveau départ. Cette aiguille exécute ainsi dans des conditions
» toujours identiques une série d'oscillations donc chacune correspond à
» une dose constante de rayons, dose qui dépend uniquement de la
» capacité électrique du système et des dimensions de la boîte. »

La réalisation de cet appareil, qui a la forme d'un électromètre à quadrants, est très ingénieuse. L'auteur profite de l'occasion pour définir une unité fondamentale des quantités de rayons X. « L'unité fondamentale de rayons X est celle qui libère par ionisation une unité électrostatique par centimètre cube d'air dans les conditions normales de température et de pression (*Villard, Archiv. électri. médic.*, Sept. 1908, n° 245).

Dernièrement, a employé la méthode électrométrique pour étudier l'absorption des rayons par les tissus de l'organisme, mais cet auteur ne décrit pas l'appareil dont il s'est servi. Du reste, nous reviendrons sur son article dans la deuxième partie de ce travail.

CHAPITRE II

Description des appareils employés et manuel opératoire.

Nos recherches ont été faites au Laboratoire de Physique de la Faculté de médecine de Lyon.

Le courant primaire employé pour produire les rayons X était le courant continu de la ville, à 120 volts et 20 ampères. On le modifiait à volonté, au moyen d'un réducteur de potentiel industriel Maury, à deux sensibilités. Un ampèremètre et un voltmètre donnaient à chaque instant l'intensité et la force électromotrice du courant.

Nous disposions de deux bobines d'induction de Ducretet. L'une, de 25 centimètres d'étincelle, était munie d'un interrupteur moto-magnétique à turbine et à gaz de Drault. Pour l'autre bobine, de 35 centimètres d'étincelle, on se servait d'un interrupteur autonome de Gaiffe, à alcool.

Par le simple jeu d'un commutateur, le courant primaire pouvait être envoyé à volonté dans l'une ou l'autre bobine. Le circuit secondaire comprenait, outre le secondaire de l'une ou l'autre bobine, un milliampèremètre de Gaiffe, un milliampèremètre de Château frères, les deux appareils se contrôlant mutuellement, une soupape de Villard, une ampoule radiogène dont la marque sera indiquée à propos de chaque expérience, un spintermètre placé sur la bobine pour mesurer la différence de potentiel aux électrodes de l'ampoule (le degré de vide de la soupape étant toujours maintenu constant). Pour mesurer la quantité de rayons X, émis par l'ampoule, nous nous sommes servis de l'électroscope.

M. Demanjon, mécanicien du laboratoire, nous a construit, avec beaucoup de soins, un électroscope muni d'une seule feuille d'aluminium et comme isolant, d'un mélange de soufre et de paraffine fondus ensemble. La tige de cuivre qui supporte la feuille d'aluminium est terminée par un plateau de cuivre, sur lequel on fait arriver les rayons X. La forme de la boîte qui enferme le tout est cubique. Cet électroscope doit avoir deux propriétés essentielles : 1° L'isolement doit être assez parfait pour que, une fois chargé, la feuille d'aluminium conserve la même position, pendant au moins cinq minutes, durée maximum d'une observation. Cette

condition était réalisée grâce au polissage minutieux des pièces et à l'isolant employé ;

2° Mis au-dessous d'un tube à rayons X en activité, l'appareil ne doit recevoir les rayons que par le plateau de cuivre, et, de plus, l'ouverture qui admet les rayons étant obturée par une plaque de plomb d'épaisseur convenable, l'électroscope doit rester chargé comme si le tube ne fonctionnait pas. Pour cela, après de nombreux essais, M. Demanjon nous a construit une caisse en plomb munie d'un couvercle mobile, qui est percée, à sa partie centrale, d'une ouverture de 4 cm². L'électroscope est mis dans cette caisse, le plateau directement en-dessous de l'ouverture. Un point important est la nécessité de munir la caisse d'un fond de plomb comme les parois latérales. En effet, lorsque l'on opère avec une ampoule située très haut par suite de l'écartement du faisceau, il passe des rayons latéralement. Ceux-ci émettent des rayons secondaires en rencontrant les obstacles placés au-dessous de l'électroscope, qui se décharge lentement s'il n'est pas protégé par un fond en plomb. Deux ouvertures latérales permettent d'observer la feuille d'aluminium. Elles sont obturées par du verre au plomb. Il faut employer deux épaisseurs de verre plombeux du commerce pour être à l'abri de toute ionisation latérale. Si l'ouverture ménagée sur le couvercle est recouverte par une lame de plomb, l'intérieur de la caisse est alors complètement à l'abri des rayons X.

De plus, l'appareil est garanti complètement contre toute modification électrique extérieure, même si la caisse est très près de la bobine, en ayant soin de réunir les parois de plomb au sol par un fil conducteur attaché à une conduite d'eau ou de gaz. Il ne m'a pas paru nécessaire de mettre une feuille d'aluminium battue sur l'ouverture qui admet les rayons. Cette ouverture étant petite, la protection électrique est assurée à l'intérieur de la cage (1). La caisse de plomb a des dimensions telles qu'elle peut contenir la partie inférieure de l'électro-densimètre de Benoist, c'est-à-dire simplement la partie électro-métrique de cet appareil, dont j'ai remplacé le cylindre récepteur par un plateau circulaire. On a ainsi un instrument parfait au point de vue isolement et qui m'a permis de vérifier les résultats que j'avais obtenus avec mon appareil. J'ai fait aussi construire un électroscope de modèle un peu plus petit et dont les parois sont doublées de toute part par du plomb épais : ceci évite

(1) Si l'on veut employer une ouverture plus grande, la feuille d'aluminium battue sera nécessaire.

l'emploi de la cage de plomb décrite plus haut. Les conditions citées ci-dessus doivent être remplies de la même façon pour cet appareil.

Dans toutes les recherches, étant appelé à décharger un grand nombre de fois l'électroscope, surtout dans l'étude de l'absorption des rayons X par les différents corps, j'ai été amené à réaliser un dispositif commode qui charge l'appareil instantanément. J'ai utilisé le

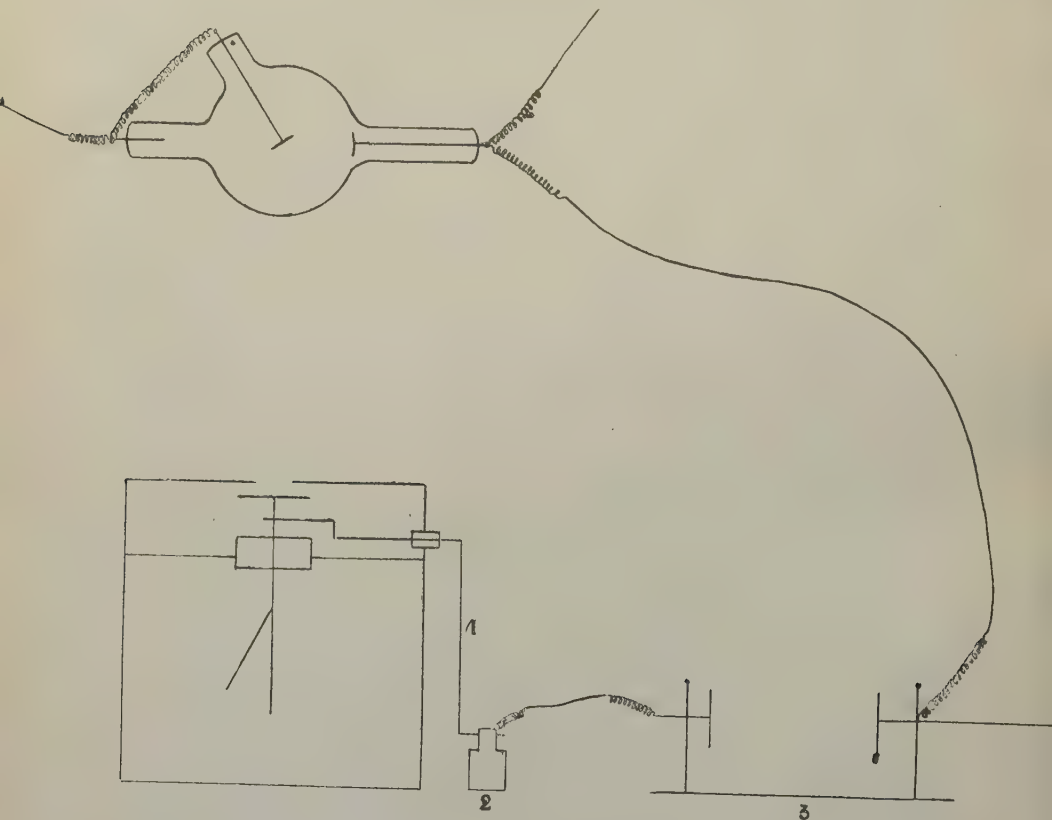


FIG. I.

Schéma de l'installation complète.

1. — Levier de charge.
2. — Borne en communication avec l'un des plateaux du condensateur.
3. — Condensateur à capacité variable pour avoir toujours la même divergence de la feuille d'Al.

courant même qui passe dans l'ampoule : une dérivation partant d'un point quelconque du circuit secondaire aboutit à une borne qui est

ainsi au potentiel du point du circuit correspondant, un levier de cuivre pénètre dans la cage de l'électroscope. Ce levier, qui est entouré d'un cylindre isolant à son passage à travers les parois de plomb, est deux fois coudé et peut être manœuvré à distance au moyen d'un cordonnet. Au repos, il est absolument isolé; mais si l'on vient à tirer le cordonnet, l'extrémité inférieure vient toucher la borne décrite, l'extrémité supérieure vient toucher la tige qui supporte la feuille d'aluminium. L'électroscope est alors en communication avec le circuit

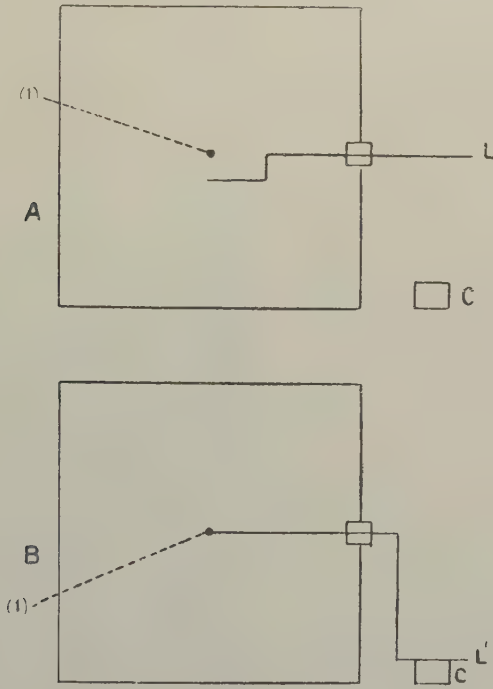


FIG. II.

Projection horizontale de l'électroscope pour montrer le système de charge.

A — L. Levier de charge au repos.

C. Borne.

(1) Tige qui supporte la feuille d'aluminium.

B — L' Position du levier au moment de la charge.

secondaire, et la feuille d'aluminium dévie d'un angle dont l'ouverture dépend du potentiel, du point où est prise la dérivation. Dès qu'on laisse

retomber le levier, toute communication est supprimée, et l'électroscope garde sa charge. Ceci se fait instantanément. L'angle dont dévie la feuille d'aluminium dépendant du potentiel du point où est prise la dérivation, si l'on fait une expérience avec un tube très dur, le potentiel est très élevé et la feuille d'aluminium prend une position horizontale; si l'on opère avec un tube mou, l'angle est voisin de 45° .

Pour avoir à peu près toujours le même angle de déviation, c'est-à-dire pour avoir le même potentiel pour chaque observation, j'ai adjoint un condensateur à capacité variable par l'éloignement ou le rapprochement des plateaux. La dérivation, au lieu d'aboutir à la borne, vient à l'un des plateaux, la borne est en communication avec l'autre plateau. L'un de ceux-ci est mobile au moyen d'une vis et il est facile d'en régler la distance pour chaque expérience.

La feuille d'aluminium ainsi partant du même point, tombe toujours avec la même vitesse initiale.

La caisse de protection ci-dessus décrite et notre électroscope étaient munis du système de charge

Nous avons suivi un manuel opératoire analogue à celui que Sagnac a décrit dans son mémoire des *Annales de Chimie et de Physique* (1901) : « *Rayons secondaires dérivés des Rayons X* ». La feuille d'aluminium était observée à l'aide d'un viseur à lunette et on notait, à l'aide d'un chronomètre à seconde, le temps de sa chute entre deux points de repère marqués sur le réticule. Les observations étaient répétées plusieurs fois de suite, on ne prenait que les nombres concordants à 0,4 secondes près et on faisait la moyenne. Pour les observations dont la durée ne dépassait pas 20 secondes, l'erreur ne semblait pas être supérieure à 0,2 secondes; elle pouvait aller jusqu'à une seconde pour les observations de près d'une minute.

Nous avons pris, toutes les fois que cela était nécessaire, la qualité du rayonnement en radiographiant le radiochromomètre de Benoist.

Les ampoules étaient munies du protecteur Muller, qui mettait l'observateur à l'abri du rayonnement et permettait de fixer les substances à étudier très près de l'ampoule.

Quelquefois, sans qu'il y ait des modifications apparentes du tube, c'est-à-dire sans que l'étincelle équivalente ou l'intensité aient changé, nous avons observé des temps de chute qui variaient brusquement. Nous avons cru bon de rejeter les nombres ainsi obtenus et qui étaient dus à des variations momentanées et non encore expliquées du tube.

La photographie ci-après donne l'aspect général de notre installation.

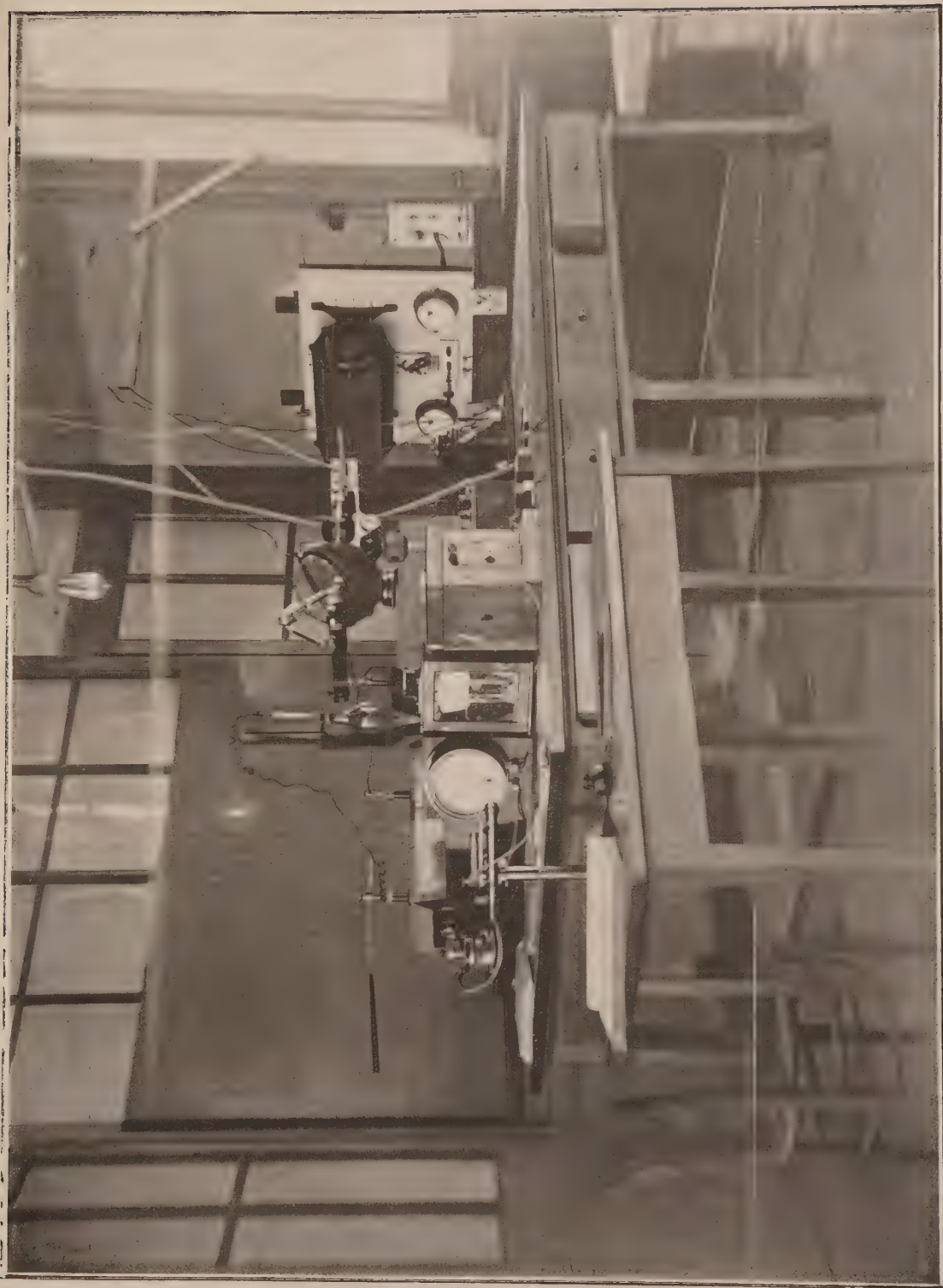


Fig. III.
Vue générale des appareils employés.

CHAPITRE III

Justification de l'emploi de l'électroscope comme instrument de mesures des quantités de rayons X.

Benoist et Hurmuzescu et les auteurs qui ont employé l'électroscope prenaient l'inverse du temps de chute de la feuille d'or ou d'aluminium et admettaient que cet inverse était proportionnel à la quantité de rayons reçus par l'électroscope.

J'ai cherché à vérifier expérimentalement que l'inverse du temps de chute est bien proportionnel à la quantité de rayons reçus en faisant tomber sur le plateau de mon appareil des quantités connues de rayons X.

J'ai déjà cité dans l'historique Barkla, qui limite le faisceau entre deux fentes, dont l'une est mobile ; en faisant varier la largeur de la fente mobile, il obtient un faisceau dont l'intensité est sensiblement proportionnelle à la largeur de la fente.

J'ai employé un procédé analogue, le faisceau de rayons X était limité par deux diaphragmes percés d'ouvertures : l'un, situé le plus près possible de l'ampoule, avait une ouverture circulaire de 1 centimètre de diamètre ; l'autre, situé près du plateau de l'électroscope, avait une ouverture de dimensions variables. Tous les deux étaient en plomb épais. Si, laissant le diaphragme supérieur fixe, on fait varier le diaphragme inférieur, la quantité de rayons qui tombent sur le plateau est proportionnelle à la surface de l'ouverture du diaphragme inférieur, puisqu'on a démontré qu'un faisceau de Rayons X présente la même densité dans toutes les directions.

J'ai vérifié qu'il en est bien ainsi de la manière suivante : j'ai donné à l'ouverture du diaphragme inférieur des surfaces de un, deux, trois, quatre centimètres carrés exactement, et, à la place exacte du plateau, j'ai mis une plaque sensible ; le tube étant mis en activité, j'ai pris ainsi les radiographies des ouvertures du diaphragme ; ces radiographies sont reproduites ci-après (fig. IV, V, VI, VII).

On constate : 1° Que les bords sont nets et bien limités ;

2° Que les surfaces touchées par les rayons X sont bien entre elles comme 1, 2, 3 et 4.

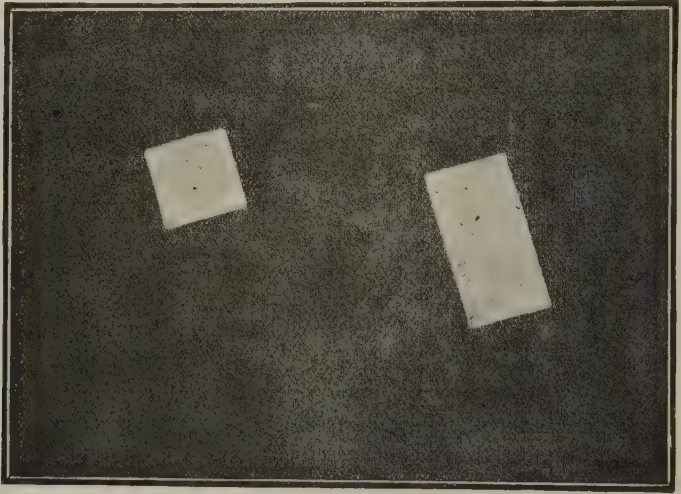


FIG. IV.

FIG. V.

(Les diaphragmes étaient a deux centimètres de la plaque);

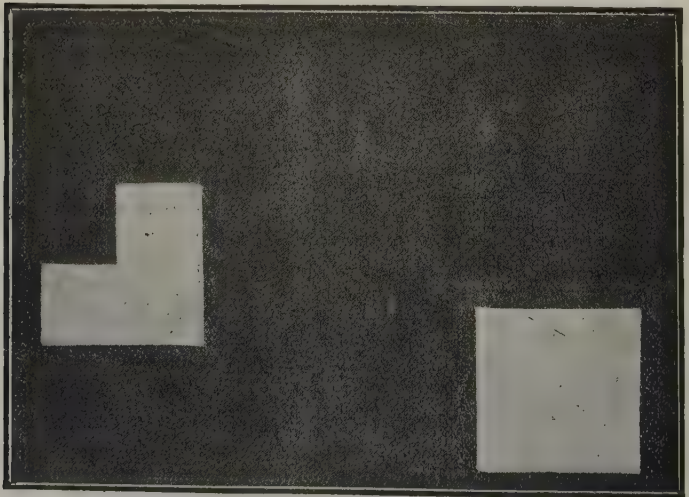


FIG. VI.

FIG. VII.

3° Qu'il n'y a pas de pénombre ni d'empiètement des zones touchées en dehors des limites nettes de l'image, ce qui prouve qu'il n'y a pratiquement pas de rayons secondaires émis par les bords du diaphragme; aussi nous n'en tiendrons pas compte. Ayant ainsi vérifié que des quantités connues de rayons X tombaient sur l'électroscope, en maintenant l'intensité du secondaire et l'étincelle équivalente constante, nous avons alors mesuré ces temps de chute de la feuille d'aluminium en interposant successivement chacun des diaphragmes représentés aux figures IV, V, VI, VII.

Nous donnons ci-dessous les résultats de quelques expériences.

EXPÉRIENCE I. — Ampoule Muller. Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm. Primaire voltage : 85 v. Intensité : 4 ampères.

Distance du plateau de l'électroscope à l'anticathode 28 cm.

Intensité en milliampères	Etincelle équivalente	Durée de chute	Surface des ouvertures
0,5	8 cm	75 s. 6	1 cm ²
0,5	8 —	37 s. 4	2 —
»	»	25 s.	3 —
»	»	19 s.	4 —

EXPÉRIENCES II. — Ampoule Bauer. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Primaire voltage : 45 v. Intensité : 8 ampères.

Distance du plateau à l'anticathode 28 cm :

Intensité en milliampères	Etincelle équivalente	Durée de chute	Surface des ouvertures
1	11 cm	12 s.	1 cm ²
1	11 —	6 s	2 —
1	»	3 s. 8	3 —
1	»	3 s.	4 —

EXPÉRIENCE III — Ampoule Muller Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm. Primaire voltage : 85 v. Intensité : 4 ampères.

Distance du plateau à l'anticathode de 46 cm.

Intensité en milliampères	Etincelle équivalente	Durée de chute	Surface des ouvertures
0,8	5,5	24 s. 8	1 cm ²
»	»	12 s. 2	2 —
»	»	8 s. 2	3 —
»	»	6 s. 2	4 —

Nous avons fait un grand nombre d'expériences et toujours nous avons trouvé des résultats analogues à ceux que nous venons de rapporter.

M. le professeur Cluzet a bien voulu vérifier ces résultats : voici les nombres qu'il a obtenus dans une expérience :

Ampoule Bauer. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Primaire voltage : 45 v. Intensité : 9 ampères.

Distance du plateau à l'anticathode 28 cm.

Intensité en milliampères	Étincelle équivalente	Durée de chute	Surface des ouvertures
0,6	9,5	12 s.	2 cm ²
»	»	24 s. 4	1 —
»	»	6 s. 2	4 —
»	»	8 s. 2	3 —

Nous avons fait un enregistrement graphique du temps de décharge de l'électroscope. Pour cela, on disposait sur un cylindre de Marey entraîné d'un mouvement uniforme une feuille de papier noirci. La plume d'un signal électrique de Desprez, traçait une ligne blanche sur le papier ; au moment où la feuille d'aluminium passait devant le repère supérieur, on lançait le courant dans le signal, la plume était déviée et marquait un trait sur le papier. On n'interrompait le courant qu'au moment où la feuille d'aluminium passait devant le repère inférieur. On avait un autre trait ; la longueur entre les deux traits est proportionnelle au temps. Le cylindre tournait d'un mouvement uniforme avec une vitesse d'environ un tour par minute (fig. VIII).

Nous donnons la photographie des longueurs obtenues. Il est facile de se rendre compte qu'elles sont bien entre elles comme 1, 2, 3 et 4.

Par l'examen des nombres obtenus, on voit donc que le temps de décharge varie en raison inverse de la quantité des rayons reçus, à condition que les rayons soient de même qualité.

Si, au lieu d'un électroscope, on considère une surface électrisée quelconque, les résultats sont valables et l'on peut dire que :

Si une surface électrisée quelconque reçoit des rayons X, le temps de décharge est en raison inverse de la surface touchée par les rayons.

REMARQUE. — Dans les expériences précédentes, nous avons fait varier la quantité de rayons qui tombent sur l'électroscope, simplement en changeant la surface d'ouverture des diaphragmes, la qualité des rayons étant restée constante.

Nous pouvons faire varier la quantité de rayons par un autre moyen, tout en conservant la même longueur d'étincelle. Il suffit d'augmenter l'intensité du secondaire, on sait que la longueur d'étincelle croitra en

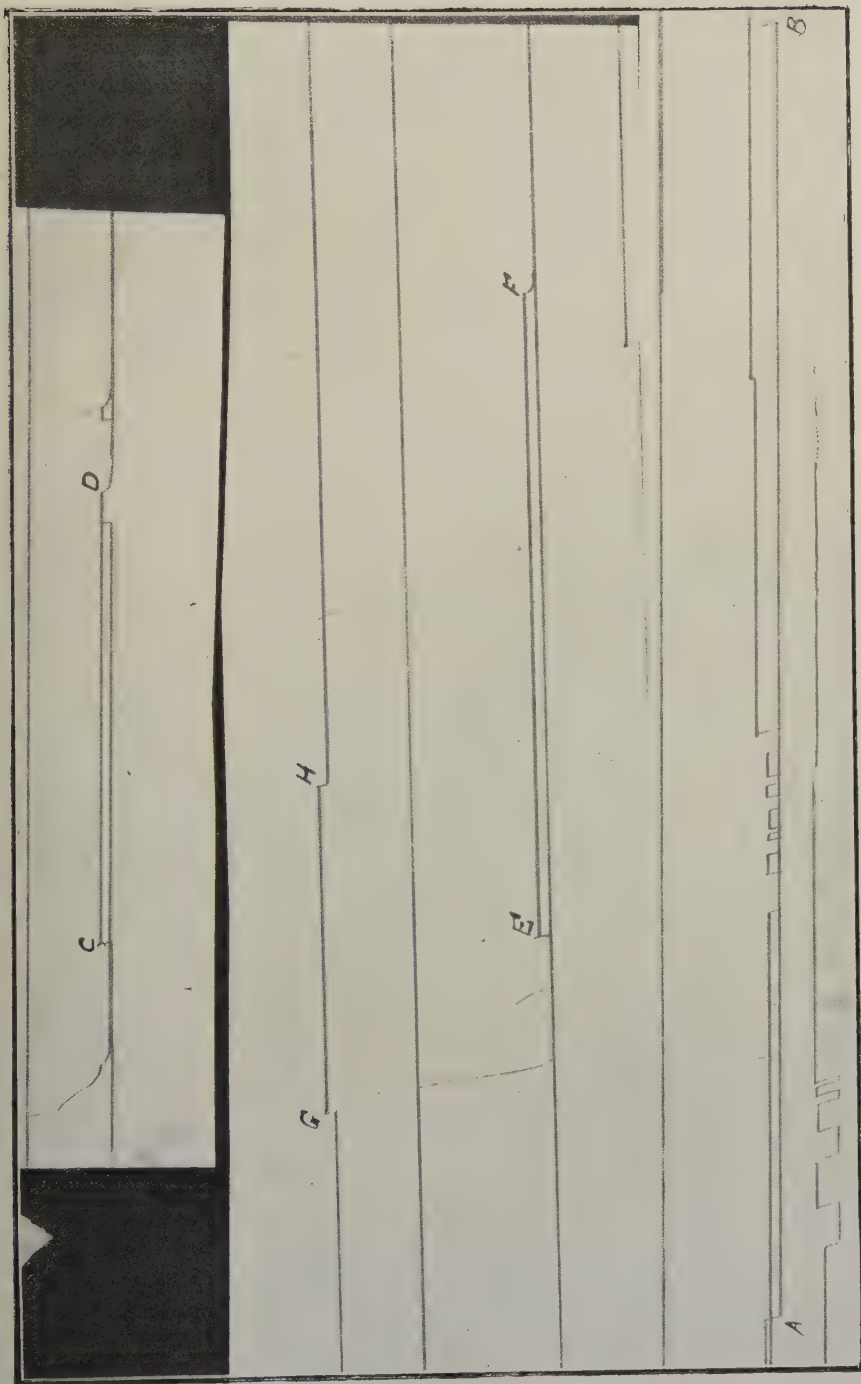


Fig VIII.

Enregistrement graphique des temps.

NOTA. — Les traits que l'on voit sont dus aux essais que l'on faisait pour s'assurer que le signal de Desprez fonctionnait. Il y a lieu de ne tenir compte que des longueurs AB—CD, EF—GH qui sont bien entre elles comme les nombres 4, 3, 2, 1, c'est-à-dire en raison inverse des surfaces des diaphragmes.

même temps, mais on la ramènera à sa valeur primitive par les différents régulateurs adaptés aux ampoules.

Laissons les deux diaphragmes en place et supposons, pour fixer les idées, que la surface de l'ouverture inférieure soit de 1 cm^2 . Notons le temps de chute. Augmentons l'intensité du secondaire, le temps de chute diminue, et il arrive à être un $1/2$, $1/3$, $1/4$ du temps primitivement observé, c'est-à-dire qu'il devient le même que si, au lieu d'augmenter l'intensité, on avait mis des diaphragmes de 2, 3, 4 cm^2 d'ouverture.

Dans ces conditions, les *rayons ayant même qualité*, nous croyons légitime d'admettre que nous avons 2, 3, 4 fois plus de rayons par centimètre carré et que l'inverse du temps de décharge est proportionnel à cette quantité de rayons.

Une quantité de rayons, définie par un temps de décharge T , sera la même que ce temps soit obtenu avec une intensité I et un diaphragme de 1 cm^2 ou avec une intensité I' plus petite que I , et un diaphragme de 4 centimètres, l'étincelle équivalente étant restée la même dans les deux cas. Seulement, dans le premier cas, la quantité de rayons est répartie sur une surface de 1 cm^2 ; dans le second cas, sur une surface de 4 cm^2 .

Ceci nous amène à la notion de densité du rayonnement reçu par une surface. Si l'on fait arriver successivement sur le plateau de l'électroscope deux quantités de rayons X, de même qualité, l'une répartie sur une surface de 1 cm^2 , l'autre sur une surface de 4 cm^2 , et, si les temps de décharge sont égaux, dans le premier cas il tombera quatre fois plus de rayons par centimètre carré que dans le second.

On pourra appeler densité de rayonnement sur une surface, la quantité de rayons reçus par centimètre carré. Il suit de là que la densité dépend de l'intensité du secondaire, la distance de l'anticathode à la surface et la qualité du rayonnement restant constante.

DÉFINITIONS. — Nous pouvons maintenant définir l'égalité et l'addition de deux quantités de rayons X de même qualité, qui tombent sur une surface (on pourra toujours remplacer la surface, considérée par une surface égale, appartenant à un électroscope et placée à la même distance).

Nous dirons : 1° Que deux quantités de rayons X de même qualité sont égales lorsque, tombant successivement sur un électroscope chargé, toutes choses égales d'ailleurs, la décharge se produit dans le même temps ; 2° Qu'une quantité de rayons X sera 2, 3, 4, etc., fois plus

grande ou plus petite qu'une autre quantité de même qualité, lorsque tombant successivement sur un électroscope chargé, toutes choses étant égales d'ailleurs, les temps de décharge sont de 2, 3, 4 fois plus petits ou plus grands.

Ayant ainsi défini l'égalité et l'addition de deux quantités de rayons X de même qualité, nous avons une grandeur mesurable. Il suffira de déterminer une unité quelconque arbitraire répondant à certaines conditions et de rapporter toutes les mesures à cette unité.

Dans nos expériences, l'unité prise variait chaque fois ; on prenait un temps de chute et on convenait de dire qu'il correspondait à 100 ou 1000 unités. Un simple calcul de proportion donne le nombre d'unités correspondant à un autre temps de chute.

APPLICATION A LA MESURE DES SURFACES. — Si, laissant l'ampoule constante et ayant déterminé le temps de chute correspondant à un diaphragme percé d'une ouverture de 1 cm carré, nous mettons un diaphragme percé d'une ouverture de surface inconnue, et si nous notons le temps de chute, il sera facile d'avoir la surface du diaphragme par la formule

$$X = \frac{T}{T'}$$

X étant la surface cherchée, T' le temps de chute correspondant, T le temps correspondant à une surface de 1 cm carré, nous avons pu ainsi calculer des surfaces de 1 ou plusieurs centimètres carrés, à quelques millimètres carrés près.

CHAPITRE IV

Variation de la quantité des rayons X avec l'intensité du secondaire, la qualité restant constante.

Nous venons de voir que lorsqu'on augmentait l'intensité du secondaire, la quantité de rayons par unité de surface, c'est-à-dire la densité du rayonnement augmentait, la qualité restant constante. Nous nous sommes demandés s'il n'y avait pas un rapport entre le nombre de milliampères débités au secondaire et la quantité de rayons X.

D'abord, dans des expériences isolées, nous avons constaté un rapport entre l'intensité de secondaire et la quantité définie par le temps de chute de la feuille d'aluminium.

Voici quelques résultats de ces premières expériences.

Ampoule Muller.

Intensité	Étincelle	Temps
1	9	24 s.
0,5	9	49 s.

Ampoule Chabaud à osmo-régulateur.

Intensité	Étincelle	Temps
0,3	5	25 s.
0,5	5	15 s.

Ampoule Muller à eau.

Intensité	Étincelle	Temps
0,5	11	22 s.
1	11	11 s. 2

On pouvait déduire de ces quelques résultats que la quantité de rayons est directement proportionnelle à l'intensité exprimée en milliampères. J'ai cherché à vérifier ceci en faisant le plus grand nombre de mesures possible avec la même ampoule. L'installation dont je disposais me permettait d'arriver jusqu'à 1,5 m. A pour des ampoules de dureté moyenne, on voit que l'échelle était assez restreinte et j'ai regretté

de ne pouvoir vérifier les résultats précédents avec une installation pouvant donner jusqu'à 15 milliampères et même plus, je le ferai à la première occasion.

Une autre difficulté est de ramener l'ampoule à avoir toujours la même longueur d'étincelle équivalente lorsqu'on a augmenté l'intensité, ce sont les ampoules à osmo-régulateur qui permettent d'arriver le mieux à ce résultat.

Je donne ci-dessous des résultats obtenus avec une ampoule à osmo-régulateur de palladium de Max Kohl.

EXPÉRIENCE I.

Etincelle	Intensité	Temps
10,5	1,3	1 s.
10,5	0,8	1 s. 6
10,5	0,3	4 s. 2

EXPÉRIENCE II.

Etincelle	Intensité	Temps
9	0,5	3 s. 4
9	0,6	2 s. 8
9	0,8	2 s. 4
9	1	1 s. 8

EXPÉRIENCE III.

Etincelle	Intensité	Temps
9	0,3	1 s. 4
9	0,5	0 s. 8

Si l'on fait le produit de l'intensité par le temps, on voit que ce produit est sensiblement constant pour chaque expérience.

EXPÉRIENCE I	EXPÉRIENCE II	EXPÉRIENCE III
1,3	1,7	4,2
1,28	1,68	4,0
1,26	1,92	
	1,8	

Nous avons dit plus haut que l'erreur possible dans l'évaluation du temps de chute de la feuille d'aluminium est de 0",2 en plus ou en

moins; par exemple : dans l'expérience (2) en mettant 3",6 au lieu de 3",4, 3", au lieu de 2",8, on aurait comme valeur du produit :

1,8
1,8
1,92
1,8

Nous basant sur ces expériences et sur un grand nombre de résultats isolés, nous pouvons donc dire que :

Entre 0 et 1,5 milliampères, la quantité de rayons X croît proportionnellement à l'intensité, la qualité restant constante.



CHAPITRE V

Variation de la quantité de rayons X avec la longueur d'étincelle équivalente de l'ampoule.

Nous avons justifié l'emploi de l'électroscope pour la comparaison de deux rayonnements de même qualité. Mais peut-on avec cet appareil comparer le rayonnement d'un tube dur à grande longueur d'étincelle avec le rayonnement d'un tube mou. Par exemple, si ces deux rayonnements amènent la chute de la feuille d'aluminium électrisé dans un même temps, pourrions-nous dire qu'ils sont égaux en quantité, quoique les étincelles équivalentes soient inégales? C'est la première question que nous nous sommes posé quand nous avons abordé cette étude. En biologie, le rayonnement d'un tube dur n'a pas du tout la même action que le rayonnement d'un tube mou, quand bien même le milliampère-mètre indiquerait le même nombre.

Avec l'électroscope, on peut obtenir des effets égaux, c'est-à-dire un même temps de décharge avec des rayonnements différents. Les effets électroscopiques étant les mêmes, peut-on en conclure que les deux quantités de rayons X sont égales. En d'autres termes, les rayons d'un tube dur n'ont-ils pas une capacité d'ionisation plus grande que les rayons d'un tube mou? Cela est difficile à vérifier directement, mais on sait que les rayons fournis par les tubes durs se propagent plus loin et ont une force de pénétration plus grande que les rayons fournis par les tubes mous, d'après ceci et à priori, la quantité de rayons X qui tombera sur un électroscope sera plus grande si le tube est dur que s'il est très mou, à intensité égale puisqu'il y aura moins de rayons arrêtés; c'est ce que l'expérience vérifie.

Donc, l'augmentation de longueur d'étincelle doit provoquer une augmentation de quantité; nous admettrons que cette augmentation de pouvoir pénétrant amenant une augmentation de la quantité qui parvient sur l'électroscope est la seule modification apportée au faisceau et que son pouvoir d'ionisation est resté le même.

Avec cette hypothèse, nous pourrions comparer avec l'électroscope deux faisceaux de qualité différente, puisqu'une variation de qualité se réduit à une variation de quantité.

Toutefois, si les effets sont les mêmes sur l'électroscope, ils ne sont pas les mêmes en biologie et en thérapeutique, aussi faudra-t-il toujours spécifier la longueur d'étincelle dans ce cas-là.

Sur l'organisme, les rayons X semblent produire un effet là où ils sont absorbés, et on peut faire traverser la peau par des rayons durs sans dommage, du moins apparent. En est-il de même avec l'électroscope? Le plateau de notre électroscope est suffisamment épais pour absorber tous les rayons, ce qui indiquerait que l'on a toujours des actions comparables.

Nous admettons donc qu'au point de vue électrique, des quantités égales de rayons X de qualité différente produiront le même effet si ces deux quantités sont entièrement absorbées; mais, nous le reconnaissons volontiers, rien ne prouve que les rayons venus d'un tube dur n'ont pas un pouvoir d'ionisation plus grand ou plus petit que les rayons venus d'un tube mou, et qu'il ne faille par déterminer une unité pour chaque qualité de rayons.

Ces réserves faites, nous étudierons avec notre appareil comment varie la quantité, déduite du temps de décharge, avec la longueur d'étincelle.

Nous devons d'abord indiquer comment on mesurait la longueur d'étincelle. Le spintermètre était sur la bobine, l'étincelle équivalente de la soupape étant constante. L'étincelle éclatait entre deux tiges cylindriques de cinq millimètres de diamètre et planes à leur extrémité. On retirait complètement la tige mobile et on l'avancait peu à peu, jusqu'à ce que les étincelles passent de façon presque continue, sans toutefois que la fluorescence du tube soit trop diminuée, on mesurait ensuite la distance des deux tiges. En recommençant les expériences plusieurs fois, l'erreur ne dépassait pas trois à cinq millimètres.

Dans nos recherches, nous avons procédé de deux façons :

1° Nous avons profité du résultat déjà énoncé, à savoir que la quantité est proportionnelle à l'intensité quand la longueur d'étincelle reste constante : c'est la méthode indirecte;

2° Nous avons directement maintenu l'intensité constante en faisant varier la longueur d'étincelle, nous avons cherché le rapport qu'il y avait entre cette longueur et la quantité.

1° MÉTHODE INDIRECTE. — Avec une même bobine, un même interrupteur, un même électroscope, l'ampoule étant située toujours à la même distance, dans les limites de 0 à 1,5 milliampères et de 0 à 20 cm.

d'étincelle : le produit du temps de décharge par le nombre de milli-ampères et la longueur d'étincelle est sensiblement constant pour une même ampoule.

Nous appellerons K cette constante ; pour faire varier l'intensité et la longueur d'étincelle, on emploiera les différents régulateurs des ampoules, on modifiera la vitesse de l'interrupteur au moyen du réducteur de potentiel.

Voici les résultats de quelques expériences :

EXPÉRIENCE I. — Ampoule Bauer. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Anticathode à 30 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps de décharge	K
0,7	6	3 s.	12,6
1,00	9	1 s. 4	12,6
0,6	11	1 s. 8	11,8
0,9	14	1 s.	12,6

Une expérience faite avec la même ampoule, l'interrupteur Gaiffe et la bobine de 35 cm. a donné :

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps de décharge	K
0,5	12,5	2 s.	12,5

Le coefficient K serait le même pour la même ampoule, quelle que soit l'installation ; nous avons constaté le même fait avec une autre ampoule, cependant les expériences comparatives sont encore peu nombreuses pour pouvoir affirmer ceci comme un fait général.

EXPÉRIENCE II. — Ampoule Bauer. Interrupteur Drault. Bobine à 25 cm. Anticathode à 30 cm. du plateau. Electro-densimètre Benoist.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps de décharge	K
0,5	8	6 s.	24
0,5	9	5 s. 4	24
0,7	10	3 s. 8	26
0,4	10	6 s. 2	24
0,5	11	4 s. 2	23
0,4	12	4 s. 8	22,8
0,7	12	3 s. 2	26
0,6	18,5	2 s. 4	26

Donc, d'après ces expériences, on peut écrire : si T représente le

temps en secondes, I l'intensité en milliampères, E la longueur d'étincelle en centimètres,

$$E I T = K.$$

Ces expériences datent de Juillet 1909; à ce moment je ne pensais pas à ce rapport, je cherchais à en établir un autre, mais n'y parvenant pas, avais-je abandonné mes expériences à cette époque. Je ne les ai reprises qu'en Septembre de la même année, en opérant avec diverses ampoules.

Voici quelques résultats :

Ampoule Muller. Interrupteur Dault. Bobine à 25 cm. Anticathode à 46 du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
0,4	13	1 s.	5,2
1,2	13,5	0 s. 3	5,4

Même ampoule et même installation; on met un diaphragme pour augmenter le temps de chute

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
0,9	15,3	1 s. 8	24,78
0,5	13	3 s. 8	24,70
0,8	7,5	4 s. 2	25,2
1,2	10,8	2 s.	25,9

Ampoule Max Kohl. Interrupteur Dault. Bobine de 25 cm. Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
0,7	9	0 s. 8	5,07
0,7	5,6	1 s. 4	5,4
0,9	3,5	1 s. 8	4,8
0,7	7,2	1 s. 1	5,5
0,2	17	1 s. 6	5,3
0,2	14,5	1 s. 8	5,2
0,2	19,5	1 s. 4	5,3

Autre expérience, même ampoule, même installation, on met un diaphragme.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps de décharge	K
0,4	19,5	3 s.	23,4
0,6	5	7 s.	21
0,7	8	4 s.	22,4

On continue cette expérience en prenant l'interrupteur Gaiffe et la bobine de 35 cm.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps de décharge	K
0,4	10,5	5 s. 2	21,4
0,6	13,5	2 s. 6	21
0,8	4,5	6 s.	21
0,5	8,5	5 s. 2	21,8

On retrouve le résultat annoncé plus haut pour une ampoule de marque différente, à savoir que le coefficient K est le même pour une même ampoule et ne semble pas dépendre des dimensions de la bobine ni de l'interrupteur.

EXPÉRIENCE I. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Drault et bobine de 25 cm. Electro-densimètre de Benoist.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
1,5	10,5	1 s.	1,31
0,8	10,5	1 s. 6	1,28
0,4	8	4 s. 2	1,34
0,3	10,5	4 s. 2	1,32

EXPÉRIENCE II. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
0,4	2	49 s. 4	39,52
0,6	3	22 s. 4	40,32
0,8	4,8	10 s. 4	39,93
1,2	6	5 s. 4	38,8
1,5	6	3 s. 8	38

EXPÉRIENCE III. — Ampoule Muller petit modèle. Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
0,5	6,5	7 s.	22,7
0,9	7	3 s. 8	23,9
1,4	8	2 s.	22,4
2,1	8	1 s. 4	23,5

EXPÉRIENCE IV. — Ampoule Radiguet datant au moins de 10 ans et qui avait été abandonnée à cause de sa dureté; il n'y a pas de réglage; en la chauffant, j'ai pu obtenir les nombres ci après :

Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	
—	—	—	—
0,8	20	3 s. 8	60,8
0,6	16,5	6 s.	60,4
0,3	15	13 s. 8	64,2

EXPÉRIENCE V. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm.
Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,3	9,5	8 s. 2	23,1
0,5	12	3 s. 4	20
0,9	13,5	1 s. 6	21,6
0,4	13,5	3 s. 8	20,4
1,1	5	3 s. 8	20,9
0,9	5,8	3 s. 8	19,8
0,7	6,5	4 s. 4	20

EXPÉRIENCE VI. — Même installation avec l'interrupteur Dault. Bobine de 25 cm.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,9	11	2 s. 2	21,7
0,6	12	1 s. 2	20,6
1,4	10	3 s. 2	19,2
1	3,5	6 s. 4	22,4
0,3	8,5	7 s. 6	19,3
0,5	10	4 s.	20

On remarque encore que le coefficient K reste le même que l'on emploie la bobine de 35 cm avec l'interrupteur Gaiffe ou la bobine de 25 cm avec l'interrupteur Dault.

REMARQUE. — Nous avons obtenu les variations d'intensité et de longueur d'étincelle dans les expériences précédentes par deux méthodes :

1° En faisant varier la vitesse de l'interrupteur par la manœuvre du réducteur de potentiel du courant primaire.

2° Par le régulateur des ampoules — soit osmo-régulateur comme dans l'ampoule Max Kohl, soit régulateur électrique comme dans les ampoules Muller, soit régulateur à soupape comme dans l'ampoule Bauer.

J'ai essayé de voir l'influence de ces deux méthodes car quelquefois

après un changement brusque d'intensité ou de longueur d'étincelle la valeur du coefficient K avait varié sensiblement.

Après un long fonctionnement la grandeur de K varie aussi.

1^o Expérience faite en ne touchant pas à l'ampoule, les variations d'intensité et de longueur d'étincelle sont obtenues par la manœuvre du réducteur de potentiel.

Ampoule Max Kohl. Interrupteur Draut. Bobine de 25 cm.

Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,3	8,5	7 s. 6	19,3
0,5	10	4 s.	20
1	11,2	1 s. 8	20,1
1,2	11,5	1 s. 6	21,7
0,7	12	2 s. 2	18,4
0,5	10,5	3 s. 6	18,5

EXPÉRIENCE. — Ampoule Muller petit modèle. Interrupteur Draut.

Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,4	11,5	4 s. 8	22
0,3	11	6 s. 6	21,6
0,5	10,5	4 s. 2	22
0,8	11,8	2 s. 6	24
0,7	11,5	3 s.	24
1,2	12	1 s. 6	22,4
1	11,8	2 s.	23,6
1,2	11	1 s. 8	23

D'après ces deux expériences faites en ne modifiant que la vitesse de l'interrupteur, on voit que le résultat annoncé plus haut n'est pas sensiblement modifié par ce facteur.

On remarque que K diffère peu d'une ampoule à l'autre; pour la première, il semble osciller autour de 20 et pour la seconde autour de 23, les deux expériences étant comparables.

2^o Dans une seconde série d'expériences, nous avons laissé constante l'énergie dépensée au primaire et par conséquent la vitesse de l'interrupteur; les modifications d'intensité et de longueur d'étincelle équivalentes étaient obtenues en se servant du régulateur de l'ampoule.

L'expérience ci-dessous a été faite avec une ampoule Max Kohl à osmo-régulateur de palladium pour abaisser le degré de vide. Cette

expérience a duré deux jours, car une fois ramollie, l'ampoule n'est revenue que peu à peu à son degré de vide primitif.

EXPÉRIENCE VII. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Intensité : 7,5 ampères. Voltage 33 v. Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,3	17,5	3 s. 6	18
0,3	19	3 s. 2	18
0,7	7	4 s.	19,6
0,5	10	3 s. 6	18
1,2	3	6 s. 6	23 Régénération.
1,1	3,5	6 s.	23
1	4	5 s. 2	20,8
1	4,5	4 s. 8	21,6
0,9	5	4 s. 6	20,7
0,8	6	4 s. 6	21,6
0,6	7,5	4 s. 8	21,6
0,6	8	4 s. 4	21,1
0,2—0,3	22	3 s. 6	19,8
0,5	10	3 s. 8	19
0,4	14	3 s. 4	19
0,3	19	3 s. 4	19,3
0,8	7	3 s. 6	20
0,5	11	3 s. 4	18,5
0,2—0,3	22	3 s. 8	20,9
0,30	19,5	3 s. 6	21
0,4	13	3 s. 6	19,7
0,5	12	3 s. 2	19,2

EXPÉRIENCE. — Ampoule Muller grand modèle. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Intensité : 7,50 ampères 38 volts. Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,4	13,2	3 s. 6	19
0,5	10,8	3 s. 8	20

Mêmes ampoules et installation avec au primaire : intensité : 8,5 ampères. Voltage 50 v.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,9	12,5	1 s. 8	20

On voit, d'après l'expérience N° 7, que le coefficient K est sensiblement constant avec les variations de degré de vide de l'ampoule. Cepen-

dant, il semble que, immédiatement après le fonctionnement du régulateur, il y ait une légère variation : $K = 23$ au lieu de $K = 20$ qui se produise. Mais cette variation ne dure pas. Ceci concorde avec ce que nous avons souvent observé sur les variations passagères et brusques des ampoules. D'après l'expérience précédente, on voit que l'ampoule Muller a même coefficient que l'ampoule Max Kohl. Les variations d'intensité et de voltage au primaire conservent sensiblement la valeur de ce coefficient.

Nous pouvons donc conclure qu'en général, de quelque façon que l'on fasse varier l'intensité du courant qui passe dans une ampoule et la longueur d'étincelle, on a, entre le temps de décharge T d'un électroscope, l'intensité I et la longueur d'étincelle E , la relation

$$E I T = K (1).$$

K étant un coefficient dépendant de l'ampoule et de l'électroscope.

Lorsqu'on voudra avoir expérimentalement la valeur de ce coefficient K , il faudra au moins faire deux mesures pour s'assurer de la concordance et être certain que l'on est dans une période normale de fonctionnement de l'ampoule.

Si Q désigne la quantité de rayons X avec les réserves faites au début de ce chapitre, on a :

$$Q = \frac{1}{T}$$

et la formule (1) peut s'écrire :

$$Q = \frac{1}{K} E I.$$

La quantité de rayons est proportionnelle à $E I$. Nous avons vérifié que l'on avait, pour des rayons de même qualité,

$$Q = M I.$$

Ceci posé, supposons que nous ayons fait deux expériences : l'une avec une intensité I , une longueur d'étincelle E ; l'autre avec une intensité I' , une longueur d'étincelle E' , nous aurons des quantités Q et Q' telles que (2) $Q = \frac{1}{K} E I$; (3) $Q = M I$; (4) $Q' = \frac{1}{K} E' I'$; (5) $Q' = M' I'$.

Si, dans la seconde expérience, nous avons une intensité I égale à celle de la première, la longueur d'étincelle restant constante et égale à E' , on aurait alors une quantité Q'' telle que :

$$(6) Q'' = M' I.$$

Des égalités (4) et (5) on tire :

$$M' = \frac{1}{K} E'.$$

Remplaçant M' par sa valeur tiré de (6), on a :

$$\frac{Q''}{I} = \frac{1}{K} E'.$$

D'où :

$$Q'' = \frac{1}{K} E' I \text{ (7).}$$

En divisant (2) par (7) on a puisque les quantités Q et Q' sont fournies par des intensités égales

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{E}{E'}$$

Les quantités de rayons X données par des intensités égales sont proportionnelles à la longueur d'étincelle équivalente de l'ampoule.

MÉTHODE DIRECTE. — Ce résultat peut se vérifier directement en laissant l'intensité constante et faisant varier la longueur d'étincelle.

EXPÉRIENCE VIII. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Drault. Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	T. E.
—	—	—	—
0,2	17	1 s. 6	2,7
0,2	14,5	1 s. 8	2,6
0,2	19,5	1 s. 4	2,7

EXPÉRIENCE IX. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Anticathode à 46 cm. du plateau et diaphragme.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	T. E.
—	—	—	—
0,4	9	5 s. 6	50,4
0,4	12	4 s. 6	55,2
0,4	8	6 s. 6	52,8
0,4	19	2 s. 8	53,2
0,4	14	3 s. 8	53,2

D'après l'examen des chiffres de la dernière colonne, on voit que le produit TE est sensiblement constant, ce qui vérifie bien les résultats trouvés plus haut, par la méthode indirecte.

Je regrette de ne pouvoir donner une expérience plus longue en série,

mais avec les ampoules dont je disposais alors, il m'a été impossible de conserver plus longtemps l'intensité constante.

Je donne ci-dessous des résultats trouvés plus tard et qui vérifient la formule :

$$K = E I T$$

avec des longueurs d'étincelles et des intensités assez fortes.

EXPÉRIENCE X. — Ampoule Muller grand modèle. Interrupteur Gaiffe. Bobine de 35 cm. Anticathode à 46 cm. du plateau.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,35	6,5	8 s. 8	19
1	10	2 s.	20
1,3	11	1 s. 4	20

EXPÉRIENCE XI. — Ampoule Max Kohl. Même installation.

Intensité	Longueur d'étincelle	Temps	K
—	—	—	—
0,05	19	15 s.	19,4
0,3	18	3 s.	19,4
0,5	21	2 s.	21
1,2	15	1 s. 2	21
1,3	10,5	1 s. 4	19,1

REMARQUES GÉNÉRALES. — La formule $K = E I T$ se vérifie dans la plus grande partie des cas; les erreurs sont toujours inférieures à 0 s. 2 sur le temps, 0 mA 1 sur l'intensité.

Enfin, l'erreur sur la longueur d'étincelle peut atteindre 5 mm.

Comme nous l'avons déjà dit, pour que cette vérification soit complète, il faudrait avoir pu faire varier l'intensité jusqu'à 40 mA., comme on peut y arriver avec certaines installations spéciales.

Néanmoins, nous croyons que cette formule sera suffisante dans la pratique et pourra rendre quelques services, principalement pour la photométrie des ampoules, dont nous dirons quelques mots plus loin.

La longueur d'étincelle étant la quantité la plus délicate à mesurer, il eut été intéressant de faire ces recherches en mesurant la différence de potentiel aux électrodes de l'ampoule avec un voltmètre de haute tension, comme celui de Hartmann et Braun, dont s'est servi M. le Professeur Bergonié pour déterminer le degré radiochromométrique d'un faisceau, mais en raison de son prix élevé il nous a été impossible de nous en procurer un de ces appareils au laboratoire et nous avons été obligé de nous contenter de la mesure de la longueur d'étincelle.

Du reste, on peut admettre qu'entre les limites, assez restreintes d'ailleurs, où nous avons opéré, cette longueur d'étincelle est proportionnelle à la différence du potentiel aux électrodes de l'ampoule.

Dans ce cas, nous pouvons considérer E et I comme la différence de potentiel et l'intensité d'un courant continu qui aurait la même action que le courant secondaire de la bobine qui est saccadé et de même sens, puisque l'onde inverse a été supprimée par la soupape. Le produit EIT représente alors l'énergie électrique qui passe dans l'ampoule pendant la durée de la décharge de l'électroscope, il est naturel que nous constatons que cette énergie est constante, puisqu'elle est nécessaire à la production d'une quantité de rayons X qui par ionisation enlève toujours la même charge à l'électroscope. Mais nous constatons en outre que l'énergie électrique nécessaire à la décharge de l'électroscope varie si l'on emploie des ampoules différentes, la quantité K variant d'un tube à l'autre.

La formule $EIT = K$ avait d'ailleurs été déjà obtenue par Klingelfuss en mesurant l'énergie nécessaire à produire un même effet sur la plaque photographique. Cet auteur évaluait, non le potentiel explosif, mais « la tension réelle du courant » au moyen d'un voltmètre spécial.

Nous profitons de l'occasion pour signaler la différence qui existe entre le pouvoir fluoroscopique d'un tube et son pouvoir d'ionisation à intensité constante.

Turchini écrit dans les conclusions de sa thèse :

« Le pouvoir fluoroscopique d'un tube à intensité constante augmente avec l'étincelle équivalente jusqu'à un maximum au delà duquel il reste constant pour les petits débits et les faibles fréquences et diminue quand la fréquence est élevée, quel que soit le débit.

« Ce maximum d'éclat a toujours eu lieu entre 10 et 12 cm. d'étincelle équivalente, ce qui nous indique que pour faire de la radiographie, on ne devra jamais dépasser 12 cm. d'étincelle équivalente car, au delà, l'image se grisaille sans augmenter l'éclat disponible.

« L'identité des courbes radiographiques et fluoroscopiques obtenues avec des débits moyens permet de penser que pour les débits considérables fournis par la grosse bobine, on aurait un maximum entre 10 et 12 cm. d'étincelle équivalente comme en fluoroscopie ».

L'effet ionisant d'un tube, au contraire, croît avec la longueur étincelle et ne semble pas avoir de maximum dans les limites où nous avons opéré.

Ceci montre la profonde différence entre les effets radiographiques et fluoroscopiques. De plus, les effets radiothérapeutiques sont-ils plus voisins

des effets électriques ou des effets fluoroscopiques? C'est sur ce point qu'il y aurait lieu de faire des études précises, peut-être trouverait-on partout des effets concordants, à condition que tous les rayons soient absorbés par la plaque photographique, le fluoroscope, les tissus, comme cela a lieu dans l'électroscope.

APPLICATION A LA PHOTOMÉTRIE DES AMPOULES. — Avec une installation déterminée, un électroscope muni de repères invariables, si on place des ampoules toujours à la même distance et si on détermine le coefficient K de chaque ampoule, on pourra ainsi classer celles-ci d'après la formule :

$$(1) \quad Q = \frac{1}{K} EI.$$

On voit que la quantité Q de rayons X varie en raison inverse de K pour EI constant. Donc plus K sera petit, plus l'ampoule donnera de rayons.

Si pour une autre ampoule on trouve pour K une valeur K' telle que $K' > K$.

D'après la formule (1), on aura pour une même longueur d'étincelle et une même intensité, une quantité Q' telle que

$$Q' = \frac{1}{K'} EI$$

Si $K' > K$, on aura :

$$\frac{1}{K} > \frac{1}{K'}$$

D'où l'on tire $Q > Q'$.

A intensité égale et étincelle équivalente égale, la première ampoule donnera plus de rayons que la seconde.

Dans la fabrication des ampoules, on pourrait ainsi déterminer les formes et dimensions qui conviennent le mieux aux ampoules.

Calcul de quelques coefficients. — Ces coefficients sont calculés d'après 4 expériences et on a pris les moyennes.

K = Coefficients moyens.

Ampoule Max Kohl à osmo-régulateur de palladium	20
» Max Kohl à eau, régulateur électrique	13
» Grisson à osmo-régulateur de palladium	19
» Muller de 20 cm. de diamètre.	19
» Muller petit modèle	22
» Chabaud petit modèle à osmo-régulateur	12,5

Sans vouloir tirer des conclusions trop générales et définitives d'une étude aussi limitée, on ne peut s'empêcher de remarquer que le tube à eau de Max Kohl et le tube de Chabaud ont le plus faible coefficient : dans une étude plus approfondie, nous rechercherons quelles sont les causes qui font varier les coefficients des ampoules radiogènes.

II^e PARTIE

ABSORPTION ET TRANSMISSION DES RAYONS DE RONTGEN A TRAVERS L'ALUMINIUM

Sur les conseils de M. le Professeur Cluzet j'ai étudié avec mon électroscope la transmission et l'absorption des rayons X par l'aluminium.

Cette seconde partie comprendra cinq chapitres :

- 1^{er} Aperçu historique ;
 - 2^e Description du manuel opératoire ;
 - 3^e Etude de l'absorption et de la transmission à travers l'aluminium ;
 - 4^e Conséquence que l'on peut déduire des expériences précédentes relativement à la constitution d'un faisceau de rayon X.
-

CHAPITRE PREMIER

Aperçu historique.

En publiant sa découverte de nouveaux rayons (Décembre, 1895) Röntgen avait constaté l'inégale transparence des différents corps à ces rayons. Il avait classé les corps suivant la facilité plus ou moins grande avec laquelle les rayons les traversaient et avait calculé quelques équivalents de transparence au moyen de la plaque photographique.

Benoist et Hurmuzescu, par la méthode électrométrique, établissent l'hétérogénéité du faisceau et l'absorption sélective exercée sur les rayons X par les corps traversés; ces auteurs indiquent aussi la transparence des différents corps.

Mayer conclut de ses expériences que la transmission des rayons de Röntgen à travers le verre, l'aluminium, le platine, la tourmaline verte, l'hérapatite peut être représentée par une loi exponentielle.

S. P. Thomson vérifie que les radiations X ne sont pas homogènes Roiti par la méthode photométrique trouve :

“ 1° Que l'ordre de transparence de diverses substances est le même pour tous les tubes examinés;

3° Que le pouvoir de pénétration ne varie pas proportionnellement à la luminescence quand on change le mode d'excitation du tube le pouvoir de pénétration peut augmenter tandis que le second diminuer.

3° Que les rayons X après avoir traversé une substance quelconque traversent plus facilement qu'auparavant non seulement cette substance, mais aussi toute autre substance ” (*Rendenconti de Acc. dei Lincei*, 1896, analyse du *Journal de Physique*).

Rutherford en étudiant l'absorption des rayons X par les gaz et les vapeurs arrive au résultat suivant : l'absorption des rayons X par les gaz et les vapeurs peut être représentée par le coefficient λ de la formule

$$e^{-\lambda l}$$

l étant l'épaisseur du gaz traversé.

Van Aubel emploie la plaque photographique pour traiter le même sujet.

Röntgen, avec un photomètre de Bouguer à fluorescence, arrivé aux conclusions suivantes :

« La transparence spécifique des corps, c'est-à-dire la racine $l^{\text{ième}}$ de la transparence d'une lame d'épaisseur l , est d'autant plus grande que l est plus grand.

Une feuille de platine équivaut à 6 feuilles d'aluminium;

Deux feuilles de platine équivalent à 16 feuilles d'aluminium.

Les corps étudiés sont plus transparents aux rayons d'un tube dur qu'à ceux d'un tube mou ». (*Sitzungsberichte der Akad. der Wissenschaft zu Berlin*, 1897, *Analyse du Journal de Physique*).

J.-A.-M. Clelland vérifie l'hétérogénéité du faisceau et l'absorption sélective du verre, de l'étain, de la fuschine.

D'après Humphreys, l'absorption semble être un phénomène atomique.

Aganoffroff étudie l'absorption par les milieux cristallisés.

Les travaux de Sagnac, mettant en évidence l'existence de rayons secondaires postérieurs, indiquent les précautions à prendre lorsque l'on veut étudier l'absorption des rayons X donnés par une ampoule : le récepteur devra toujours être placé assez loin de la substance étudiée pour permettre aux rayons secondaires d'être absorbés par l'air. L'action de ces rayons peut dépasser celle des rayons primaires.

En 1901, Benoist reprend ses expériences sur la transparence des corps aux rayons X. Il se sert, cette fois, de la méthode de l'écran fluorescent. L'étalon de transparence est la paraffine, mais au lieu d'exprimer le coefficient de transparence en fonction de l'épaisseur, il l'exprime en fonction du nombre de décigrammes par centimètre carré de surface traversée.

Voici les lois qu'il a énoncées :

1^{re} Loi. — La transparence d'un corps pour une qualité donnée de rayons X et pour un étalon déterminé est indépendante de l'état physique de ce corps;

2^o Loi. — La transparence des corps simples mesurée dans les conditions indiquées est une fonction déterminée et généralement décroissante de leurs poids atomiques;

3^e Loi. — La transparence d'un corps est indépendante du mode de groupement de ses atomes ou de ses molécules.

4^e Loi. — La transparence est indépendante de l'état de liberté ou de combinaison des atomes.

Clung et Mac Intosh confirment les résultats de cet auteur par la méthode électrique.

Hébert et G. Reynaud font des expériences sur l'absorption spécifique des rayons X par les sels métalliques.

Holtmark a étudié l'absorption des rayons X par les divers milieux et constate que le faisceau issu d'un tube est formé d'un mélange de rayons inégalement absorbable.

L'opinion de Walter, qui a étudié la transparence de différents corps aux rayons X, est en désaccord avec les hypothèses émises avec lui sur l'hétérogénéité d'un faisceau de rayons X. Cet auteur pense que le rayonnement donné par un tube de Crookes est homogène. « D'après Röntgen et d'autres auteurs, un faisceau de rayons X qui a traversé une lame d'une substance quelconque traverse une seconde lame identique en proportion beaucoup plus grande : ce que tous les auteurs expliquent en admettant que le faisceau est hétérogène, mais Walter remarque que, s'il en est ainsi, la loi devrait s'appliquer indistinctement à toutes les substances. Or, si l'on mesure à l'aide d'une échelle de dureté de Benoit la dureté d'un faisceau directement au sortir du tube de Crookes, puis après que ce faisceau a traversé une lame quelconque, on constate avec des lames d'aluminium de fer, de cuivre, de zinc, de platine, de plomb, une augmentation de dureté, mais avec l'argent, et à un degré moindre avec le palladium, le cadmium, l'étain et l'antimoine, la dureté est diminuée.

Cependant, un faisceau qui a traversé une première lame d'argent est absorbé dans une proportion moindre dans une deuxième lame d'argent identique.

Les propriétés des rayons secondaires ne peuvent être invoquées pour expliquer cette contradiction, car les phénomènes ne changent pas quand on éloigne la lame d'argent de l'écran ou de la plaque photographique.

L'auteur propose l'hypothèse suivante : le rayonnement émis par le tube de Crookes est homogène ; mais, en étant absorbé, il subit une influence de l'atome absorbant, et est, en général, modifié de telle sorte qu'il devient plus pénétrant pour tout autre substance. En particulier, dans les métaux du groupe de l'argent, est augmenté beaucoup plus le pouvoir pénétrant à travers les atomes de même nature » (Walter, *Annalen der Physik*, 1905 ; Analyse du *Journal de Physique*, 1906).

L'étude de l'absorption des rayons X, par les tissus de l'organisme, a été faite par les médecins.

Kienböck détermina, à l'aide de son quantitomètre, les quantités transmises par des épaisseurs connues de tissu musculaire.

Bordier employa son chromoradiomètre et fit l'étude de trois tissus : muscle, glande mammaire, tissu adipeux. Le muscle a le plus grand pouvoir absorbant, puis vient la glande mammaire, enfin le tissu adipeux.

« Pour des tissus de compositions moyennes, la quantité de rayons X, pouvant atteindre un centimètre de profondeur, n'est pas tout à fait la moitié de la dose appliquée à la surface » (*Technique radiothérapique*).

Guilleminot a entrepris les mêmes recherches à l'aide de la méthode fluoroscopique et les nombres qu'il a obtenus correspondent à peu près à ceux donnés par les auteurs précédents.

Un peu plus tard, cet auteur publiait ses nombreux travaux sur le filtrage des rayons X par l'aluminium, qui lui permirent d'aborder l'étude de la composition des faisceaux.

Si le faisceau de rayons X était monochromatique, l'intensité I_0 , après avoir traversé une épaisseur e de substance, serait :

$$I_0 = I_0 K^e$$

I_0 étant l'intensité initiale et K un coefficient dépendant de la substance, mais il n'en est pas ainsi et on ne peut donner de formule qui permette de calculer la valeur de I après avoir traversé une épaisseur e de substance.

Guilleminot, en étudiant les quantités transmises par 1, 2, 3, 4, etc. mill. d'aluminium, a pu dresser des courbes qui indiquent la marche d'un faisceau de rayons dans l'aluminium. Les courbes, ainsi obtenues, peuvent être considérées comme une somme de logarithmique; en prenant dix logarithmiques on arrive à un résultat très approché.

Par cette étude, Guilleminot a pu déterminer les doses nécessaires pour chaque application de radiothérapie profonde et indiquer les filtres et le rayonnement à choisir dans chaque cas.

Presque en même temps, Belot, par la méthode de Benoist; Bordier, à l'aide de son chromo-radiomètre, confirmaient les résultats de Guilleminot.

Enfin, Dorn a déterminé la dose absorbée par le tissu musculaire au moyen de l'électromètre. Pour des rayons filtrés par du verre ordinaire ou du verre plombeux, cet auteur arrive à cette conclusion qu'une quantité assez importante de rayons pénètre jusque dans la profondeur et y est absorbée, tandis que les premières couches n'absorbent pas une quantité plus forte.

CHAPITRE II

Manuel opératoire et appareils.

L'installation est la même que celle décrite dans la première partie. Nous nous sommes servis tantôt de notre électroscope, tantôt de l'électro-densimètre de Benoist.

Les métaux employés étaient en petites plaques de diverses épaisseurs, que l'on superposait. La première question à se poser est de savoir à quelle distance du plateau de l'électroscope il faut mettre les filtres.

Depuis les travaux de Sagnac, on sait que les corps traversés par les rayons X émettent des rayons secondaires antérieurs, postérieurs et latéraux ; l'effet des rayons secondaires postérieurs, qui seuls nous intéressent ici, peut dépasser l'effet des rayons primaires. J'ai déterminé

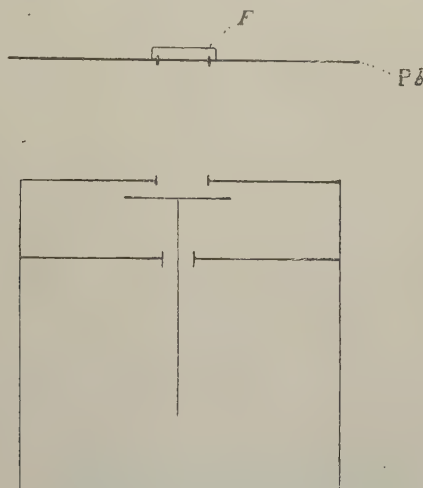


FIG. IX.

Schéma du dispositif pour l'étude des filtres.

Pb. Plaque de plomb.

F. Filtre disposé sur l'ouverture de Pb.

expérimentalement la distance minima à laquelle on pouvait placer les substances à étudier au-dessus du plateau de l'électroscope.

L'anticathode de l'ampoule était à 46 cm du plateau de l'électroscope, le filtre était placé successivement à différentes hauteurs, on mesurait le temps de chute correspondant à un même angle d'écart de la feuille d'aluminium.

Les plaquettes du métal employé étaient carrées et avaient 6 cm de côté. Il fallait éviter l'action ionisante des rayons qui n'avaient pas traversé ce filtre, aussi était-il nécessaire de faire porter les filtres par une plaque de plomb assez épaisse et assez large percée d'une ouverture en son milieu.

On vérifie que ce dispositif protège bien l'électroscope en remplaçant la plaque d'aluminium par une plaque de plomb épaisse, qui arrête tous les rayons et empêche que l'électroscope ne se décharge, l'ampoule fonctionnant au-dessus.

Nous donnons (fig. IX) le schéma de l'installation.

Voici des tableaux donnant les résultats des expériences faites avec des filtres d'aluminium :

TABLEAU I

Ampoule Muller grand modèle. Interrupteur Draut et bobine de 25 cm. Intensité du secondaire : 0,4 mA. Etincelle équivalente 11 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm. Filtre de 1 mm. d'épaisseur.

Distance du filtre au plateau en centimètres	Temps de chute
9	2 s. 8
12	2 s. 8
15	2 s. 8
16,5	2 s. 8
19,5	2 s. 8
22	2 s. 8
32	2 s. 8

TABLEAU II

Même installation. Intensité : 0,5 mA. Etincelle de 11 cm. Filtre de 2 cm.

Distance du filtre au plateau	Temps
9	3 s.
12	3 s.
15	3 s.
16,5	3 s.
19,5	3 s.
22	3 s.
32	3 s.

TABLEAU III

Même disposition. Mêmes constantes de l'ampoule. Filtre de 3 mm.

Distance du filtre au plateau	Temps de chute
9	3 s. 6
12	3 s. 8
15	4 s.
16,5	4 s.
19,5	4 s.
22	4 s.
32	4 s.

TABLEAU IV

Même disposition. Mêmes constantes de l'ampoule. Filtre de 4 mm.

Distance du filtre au plateau	Temps
9	4 s. 2
12	4 s. 4
15	4 s. 6
16,5	4 s. 6
19,5	4 s. 6
22	4 s. 6
32	4 s. 6

TABLEAU V

Même installation. Mêmes constantes de l'ampoule. Filtre de 5 mm.

Distance du filtre au plateau	Temps
9	5 s.
12	5 s. 2
15	5 s. 4
16,5	5 s. 4
19,5	5 s. 6
22	5 s. 6
32	5 s. 6

Pour les épaisseurs d'aluminium plus grandes, comme 10 mm, 20 mm, j'ai vérifié qu'en mettant les filtres à 32 cm du plateau, on n'avait pas à s'occuper des rayons secondaires postérieurs.

L'examen de ces résultats nous indique la distance à laquelle on doit placer les filtres.

Pour des recherches expérimentales comportant l'étude de grandes

épaisseurs, la distance de 32 cm à partir de la surface qui doit recevoir les rayons paraît suffisante ; pour les applications thérapeutiques où l'on ne dépasse jamais 5 mm d'aluminium, la place des filtres sera à 20 cm de la surface traitée. En outre, la plupart du temps, les ampoules sont renfermées dans des protecteurs qui permettent de placer les filtres très près de l'ampoule. En résumé, selon que l'on emploiera un filtre d'aluminium de 1, 2, 3, 4, 5 mm. d'épaisseur, il faudra mettre ce filtre à une distance de 10, 12, 15, 17, 20 cm de la surface à irradier si l'on veut éviter les effets nocifs superficiels dus aux rayons secondaires postérieurs.

Il résulte encore de cette étude que l'aluminium, qui, sous une épaisseur inférieure à 2 mm, ne donne, pour ainsi dire, pas de rayons secondaires, se comporte comme un métal lourd lorsque l'épaisseur traversée augmente. Nous nous contentons de signaler ce fait, nous réservant d'étudier d'une manière plus complète ce phénomène.

Du reste, ce résultat concorde avec les expériences antérieures et, en particulier, celles de Sagnac, qui avait remarqué que l'action électrique des rayons secondaires augmente avec l'épaisseur du métal employé.

CHAPITRE III

Étude de la transmission des rayons X à travers l'aluminium.

Ayant ainsi déterminé la distance à laquelle nous devons placer les filtres, nous avons étudié la transmission des rayons X à travers des épaisseurs croissantes d'aluminium, en général de 1 mm à 20 mm.

L'aluminium employé était de l'aluminium très pur obtenu par un procédé électrique et que nous a fourni la *Société Electro-Métallurgique française*, de Froges.

Dans nos premières expériences, craignant les rayons secondaires, nous avons fait la vérification précédente, mais jusqu'à 2 mm seulement, et nous en avons conclu que nous ne pouvions mettre nos filtres à 9 cm du plateau sans cause d'erreurs. Ce n'est que plus tard que nous avons reconnu que, sous des épaisseurs de 4, 5 mm etc., l'aluminium donnait des rayons secondaires postérieurs, alors nous avons placé nos filtres à 32 cm du plateau.

Les temps de chute inscrits dans la 2^e colonne de nos tableaux sont les moyennes de deux ou trois lectures du chronomètre. Le temps étant pris deux ou trois fois pour chaque épaisseur.

On convient que l'inverse du temps de chute sans filtre représente 100 unités arbitraires.

La plupart des expériences ne sont pas comparables entre elles directement, car les repères pris sur le réticule de la lunette, pour évaluer la durée de la décharge, ont souvent changé. Nous indiquerons les diverses expériences qui sont comparables.

Dans une même expérience, nous avons calculé le rapport d'un temps au précédent; ce rapport devrait être constant si le faisceau était homogène.

Dans une 3^e colonne figure la quantité de rayons X transmise, la quantité absorbée s'obtient par différence :

Nous rapportons d'abord trois de nos premières expériences faites avec les filtres, à 9 cm du plateau; on verra que les résultats concordent sensiblement avec les expériences faites avec les filtres, à 32 cm du plateau.

EXPÉRIENCE I. — Ampoule Muller. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm.
Intensité : 0.3 mA. Etincelle : 12 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 85 cm.
Distance des filtres au plateau : 9 cm.

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	4 s. 2	"	100
1	6 s. 2	1.47	67.4
2	8 s. 2	1.32	51.2
3	10 s.	1.20	42.0
4	11 s. 4	1.14	36.8
5	13 s. 6	1.14	30.8
6	16 s.	1.17	26.2
7	18 s.	1.12	23.3
8	20 s. 2	1.12	20.7
9	22 s.	1.09	19.09
10	24 s.	1.09	17.5
11	26 s. 2	1.09	16.0
12	28 s.	1.06	15.0
13	31 s. 2	1.11	13.4
14	33 s. 7	1.08	12.4
15	36 s. 1	1.07	11.6
16	40 s. 3	1.11	10.3
17	44 s. 2	1.09	9.5
18	48 s.	1.08	8.7
19	50 s. 3	1.04	8.3
20	51 s. 7	1.02	8.1

EXPÉRIENCE II. — Ampoule Muller. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm.
Intensité : 0.4 mA. Etincelle : 13 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 85 cm.
Distance des filtres au plateau : 9 cm.

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	3 s. 6	"	100
1	5 s. 4	1.50	66.6
2	7 s.	1.29	51.4
3	8 s. 4	1.20	42.8
4	10 s.	1.19	36.0
5	11 s.	1.10	32.7
6	12 s. 6	1.14	28.5
7	14 s.	1.11	25.7
8	16 s.	1.14	22.5
9	18 s. 2	1.13	19.7
10	20 s. 3	1.11	17.7
11	21 s. 8	1.07	16.5
12	24 s. 4	1.11	14.8
13	26 s.	1.07	13.8
14	28 s.	1.07	12.8
15	30 s.	1.07	12

EXPÉRIENCE III. — Ampoule Muller. Interrupteur Draut. Bobine de 25 cm.
 Intensité : 0.3 mA. Etincelle : 11 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 9 cm.

Epaisseur des filtres	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	2 s. 4	"	100
1	3 s. 4	1.41	70.5
2	4 s. 4	1.29	54.5
3	5 s. 2	1.18	46.1
4	6 s. 2	1.19	38.7
5	7 s.	1.12	34.2
6	8 s.	1.14	30
7	8 s. 8	1.10	27
8	9 s. 6	1.09	25
9	10 s. 6	1.08	22.6
10	11 s. 7	1.07	21.0

EXPÉRIENCE IV. — Ampoule Muller. Interrupteur Draut. Bobine de 25 cm.
 Intensité : 0.4 mA. Etincelle : 13 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm.

Epaisseur des filtres	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	1 s.	"	100
1	1 s. 8	1.8	55
2	2 s. 6	1.44	38
3	3 s. 2	1.23	31
4	3 s. 8	1.18	26
5	4 s. 6	1.21	21
6	5 s. 4	1.15	18
7	6 s. 2	1.14	16
8	7 s.	1.12	14
9	7 s. 8	1.11	12
10	8 s. 6	1.10	11
11	9 s. 6	1.11	10
12	10 s. 4	1.08	9
13	11 s. 3	1.08	8
14	12 s. 4	1.09	8
15	13 s. 6	1.09	7
16	16 s.	1.10	6
17	16 s. 2	1.08	6
18	17 s.	1.05	5
19	17 s. 8	1.04	5
20	16 s. 6	1.03	5

EXPÉRIENCE V. — Ampoule Muller. Interrupteur Draut et bobine de 25 cm.
 Intensité : 0.5 mA. Etincelle : 10 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm
 Distance des filtres au plateau : 32 cm.

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	2 s. 6	"	100
0.1	2 s. 8	1.07	92
0.2	3 s. 1	1.10	83
0.3	3 s. 4	1.09	76
0.4	3 s. 6	1.05	72
0.5	3 s. 8	1.05	68
0.6	4 s.	1.05	65
0.7	4 s. 2	1.05	61
0.8	4 s. 6	1.04	56
0.9	4 s. 8	1.04	54
1	5 s.	1.04	52

EXPÉRIENCE VI. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Draut Bobine : 25 cm. Degré Benoist N° 7. Intensité : 0,7 mA. Etincelle : 9 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm Distance des filtres au plateau : 32 cm.

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	1 s.	"	100
1	2 s. 6	2.6	38
2	3 s. 8	1.46	26
3	5 s. 2	1.36	19
4	6 s. 6	1.26	15
5	8 s.	1.21	12
6	10 s.	1.25	10
7	12 s.	1.20	8
8	13 s. 8	1.15	7
9	15 s. 8	1.14	6
10	17 s. 4	1.10	5

EXPÉRIENCE VII. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Draut et petite bobine. Degré Benoist N° 4, Intensité : 0,7 mA. Etincelle : 6 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm Distance des filtres au plateau : 32 cm.

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	1 s. 4	"	100
1	4 s. 4	3.14	31
2	7 s.	1.59	20
3	11 s. 2	1.60	12
4	15 s. 4	1.37	9
5	20 s. 4	1.32	6
6	25 s. 4	1.24	5
7	32 s. 4	1.27	4
8	38 s.	1.17	3
9	44 s.	1.16	3

EXPÉRIENCE VIII — Même ampoule. Même installation. Degré Benoist N° 2. Même distance de l'ampoule et des filtres. Intensité : 0.9 mA. Etincelle : 3.5

Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	1 s. 8	"	100
1	7 s.	3.88	25
2	13 s. 8	1.97	13
3	22 s. 4	1.62	8
4	30 s.	1.33	6
5	41 s. 2	1.37	4
6	55 s. 4	1.34	3

REMARQUE. — Ces trois expériences sont comparables entre elles.

EXPÉRIENCE IX. — Ampoule Muller. Interrupteur Gaiffe. Bobine à 35 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm. Distance des filtres au plateau 32 cm. Intensité : 0,5 mA. Etincelle : 5 cm.

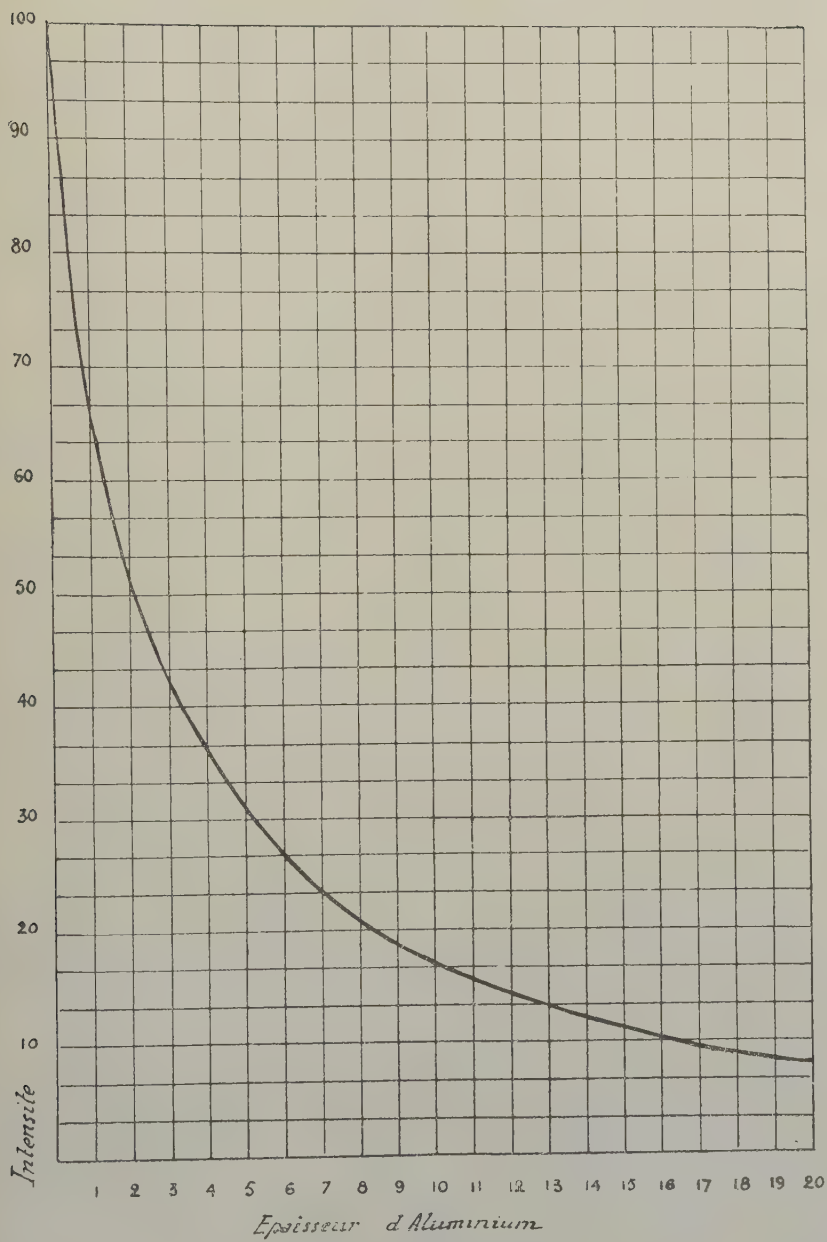
Epaisseur d'aluminium en mm.	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent	Quantité transmise
0	12 s. 2	"	100
0.1	14 s. 2	1.16	85
0.2	16 s. 8	1.18	72
0.3	17 s. 4	1.03	70
0.4	20 s.	1.14	61
0.5	21 s.	1.05	58
0.6	22 s. 4	1.06	54
0.7	23 s. 6	1.05	51
0.8	24 s. 2	1.06	50
0.9	26 s. 4	1.09	46
1	28 s. 8	1.07	42
2	51 s.	1.75	23
3	88 s.	1.70	13
4	28 s.	1.49	9

EXPÉRIENCE X. — Ampoule Max Kohl. Interrupteur Drault. Bobine de 25 cm. Intensité : 0,2 mA. Etincelle : 17 cm. Distance de l'anticathode au plateau : 46 cm. Distance du filtre au plateau 32 cm.

Epaisseur des filtres	Temps de chute	Rapport d'un temps au précédent
0	1 s. 6	"
1	2 s. 6	1.62
2	3 s. 6	1.38
5	6 s. 4	"
6	7 s. 4	1.15
10	12 s. 2	"
11	13 s. 2	1.08
15	18 s. 2	"
16	19 s. 6	1.07
20	33 s. 4	"
21	36 s.	1.07
30	62 s. 6	"
31	67 s. 2	1.07

REMARQUE. — Dans cette expérience on n'a pas déterminé tous les temps de chute pour un nombre d'épaisseur d'aluminium croissant de 1 à 30. Mais les nombres déterminés forment des repères qui permettent de se faire une idée générale de l'absorption pour un faisceau très dur. Cette expérience est comparable avec les expériences N^{os} 6, 7, 8.

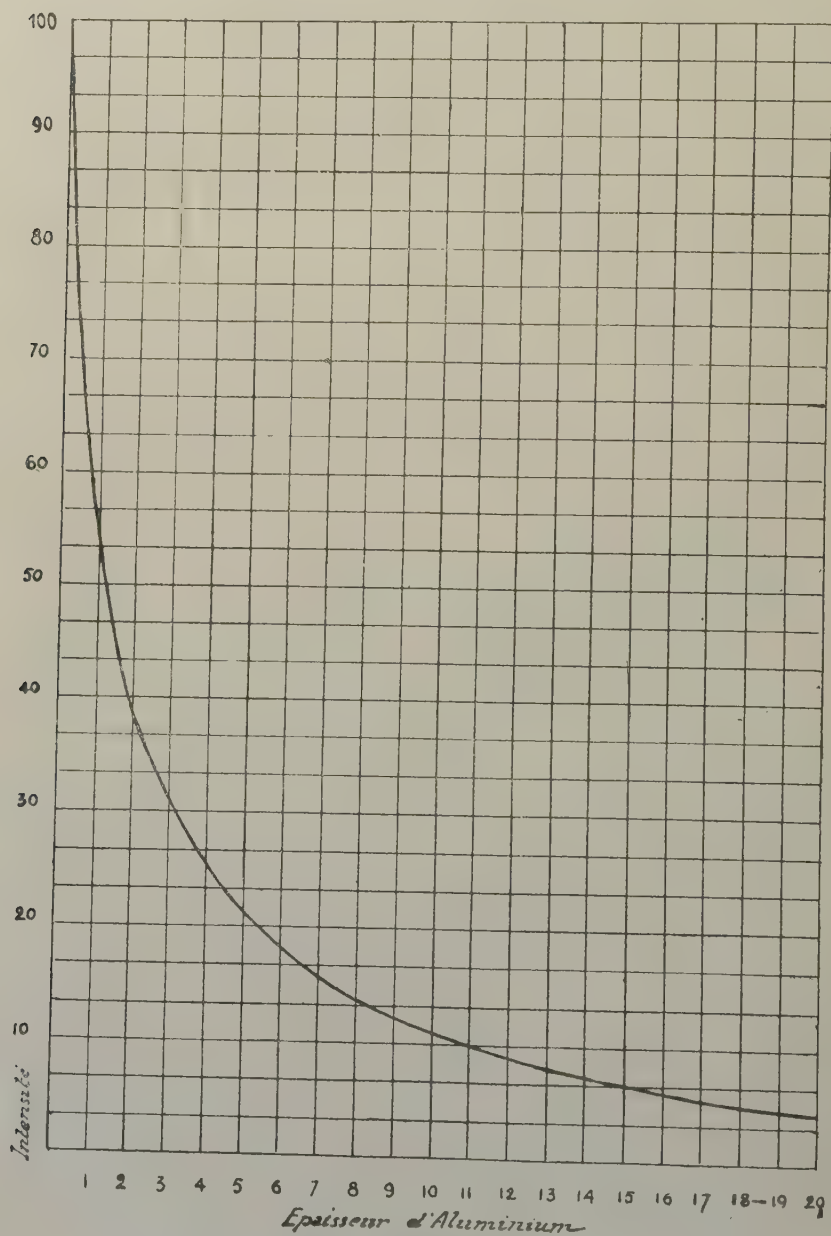
Nous donnons, ci-après, les représentations graphiques des expériences N^o 1, N^o 4 :



Courbe de l'expérience No 1.

$I = 0,3 \text{ mA}$. Etincelle 13 cm.

L'épaisseur d'aluminium est en ordonnée, la quantité de rayons X en abscisse.



Courbe de l'expérience No 4.

I — 0,4mA. Etincelle = 13 cm.

Les expériences Nos 6, 7, 8, 10, faites avec l'ampoule Max Kohl, étant toutes comparables entre elles. Nous pouvons, pour calculer les quantités, prendre la même unité; nous admettrons que la quantité de rayons X qui correspond au temps de chute de une seconde vaut 100 unités.

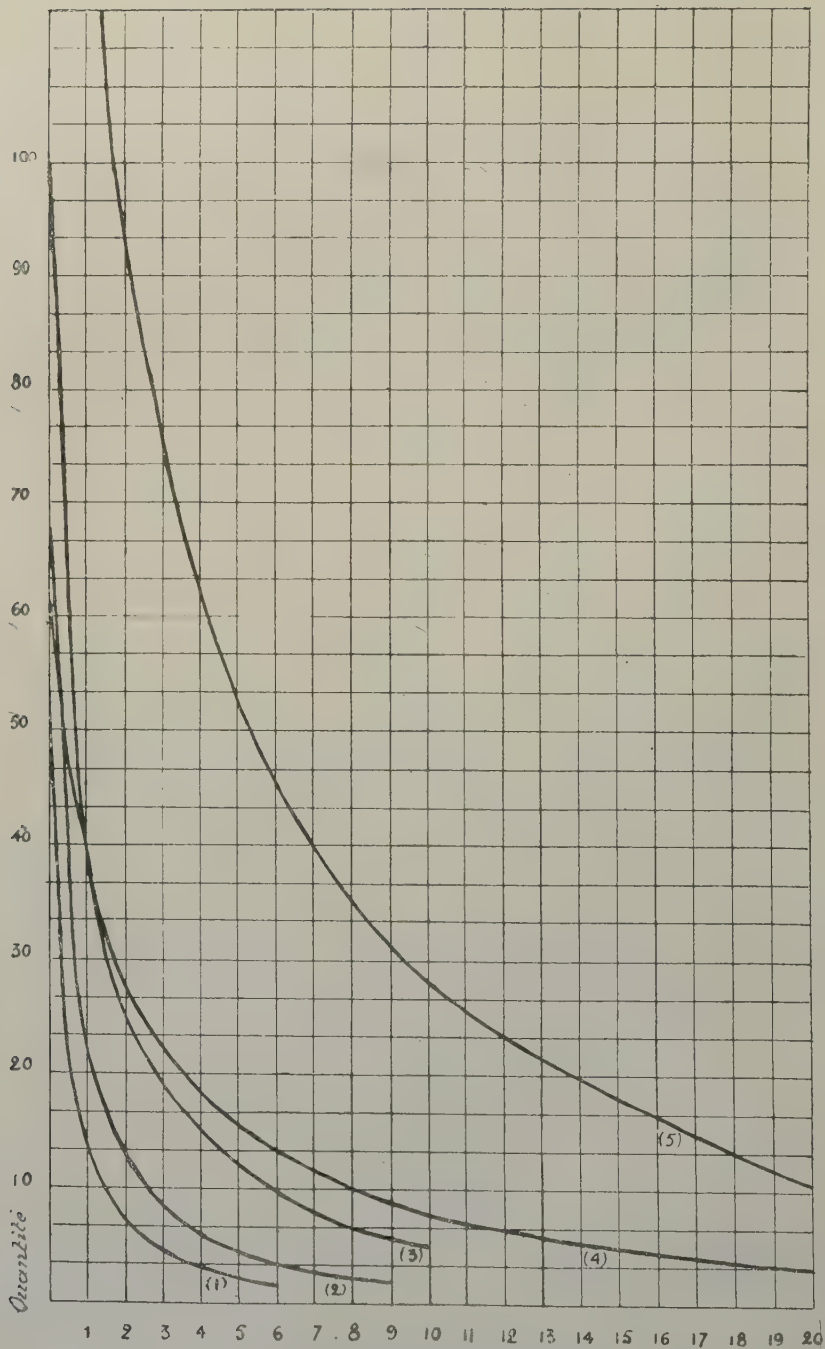
Nous allons calculer, en partant de cette donnée, toutes les quantités transmises dans les quatre expériences ci-dessous :

Epaisseur d'aluminium	Exp. VI	Exp. VII	Exp. VIII	Exp. X
0	100	71	55	62
1	38	22	14	38
2	26	14	7	27
3	19	8	4.4	"
4	15	6	3.3	"
5	12	4.9	2.4	15
6	10	3.1	1.8	13
7	8	3		
8	7	2.6		
9	6	2.2		
10	5			8
11				7
15				5.4
16				5
20				2.9
21				2.7
30				1.58
31				1.53

Nous avons réuni ensemble les courbes de ces quatre expériences; de plus, puisque la quantité est proportionnelle à l'intensité, nous avons multiplié les nombres de la dernière colonne par 3,5 pour avoir la courbe correspondant à 0,7 milliampères et à 17 centimètres d'étincelle.

Ce qui nous donne 5 courbes numérotées :

- (1) correspond à 0.9 mA et 3.5 d'étincelle.
- (2) " à 0.7 mA et 6 "
- (3) " à 0.7 mA et 9 "
- (4) " à 0.2 mA et 17 "
- (5) " à 0.7 mA et 17 "



Épaisseur d'Aluminium

Courbes des expériences 6, 7, 8, 10.

(1) I	0,9 mA.	Étincelle —	3,5 cm
(2) I	0,7 mA.	"	6 cm.
(3) I	0,7 mA.	"	9
(4) I	0,2 mA.	"	17
(5) I	0,7 mA.	"	17 courbe calculée.

REMARQUES GÉNÉRALES. — De l'étude que nous venons de faire nous déduirons les conséquences suivantes :

1° Nous avons obtenu les mêmes résultats que les auteurs antérieurs, et en particulier que Guillemot, à savoir qu'un faisceau de rayons X semble se comporter comme s'il était composé de rayons inégalement absorbables ;

2° On ne peut représenter la transmission de ces rayons à travers les corps au moyen d'une formule mathématique.

Cependant, en remarquant que pour les premières épaisseurs traversées, les temps croissent approximativement en progression arithmétique, on pourra se servir de la formule suivante, qui s'applique jusqu'à environ 7 à 8 épaisseurs.

$$T_n = T_1 + (n - 1) R$$

T_n étant le temps de chute après n mm. d'aluminium ;

T_1 le temps de chute après 1 mm.

R la différence entre les temps de chute après 1 et 2 mm d'aluminium. Cette différence restant constante entre deux temps de chute consécutifs jusqu'à $n = 7$ environ.

Des temps, il est facile de passer aux quantités, suivant l'unité choisie.

Dans la pratique, cette formule donnera d'une façon assez approximative et rapide la dose de rayons qui passera à travers 3, 4, 5, 6 épaisseurs, lorsque l'on aura déterminé celle qui passe à travers 1 et 2 épaisseurs. En radiothérapie, du reste, on ne filtre pas, en général, avec plus de 5 mm d'aluminium.

3° Les expériences Nos 6, 7, 8, 9 et 10, et les courbes représentatives, donnent lieu à diverses remarques.

Les expériences 6, 7 et 8 ont à peu près la même intensité, la longueur d'étincelle varie seule, en vertu de la proportionnalité de la quantité à l'intensité nous avons ramené l'expérience 10 à avoir la même intensité que les expériences précédentes et nous avons construit la courbe représentative.

Nous avons ainsi des courbes qui nous montrent comment varie avec la longueur d'étincelle la quantité transmise par chaque épaisseur traversée.

On voit que la quantité augmente avec la longueur d'étincelle et que cela concorde bien avec ce que nous disions, dans notre première partie, au sujet de la mesure des quantités de rayons de qualité différente, à savoir que l'augmentation de la longueur d'étincelle donne une augmentation de quantité par suite du plus grand pouvoir pénétrant du faisceau.

Les temps semblent, après filtrage suffisant, croître en progression géométrique (1), comme l'a fait déjà remarquer Guillemot, mais la raison de cette progression n'est pas la même pour chaque longueur d'étincelle et elle tend vers 1 quand la longueur d'étincelle augmente.

Par exemple prenons les expériences 6, 7, 8, 10 :

Avec 3,5 centimètres d'étincelle la raison tend vers 1.34.

— 9 — — — 1.10.

— 9 — — — 1.16.

— 17 — — — 1.07.

A chaque longueur d'étincelle semble correspondre un nombre déterminé pour raison de la progression géométrique. Ce nombre pourrait peut-être servir à caractériser chaque faisceau.

(1) Dans les expériences (1) et (4), pour des épaisseurs de 19 et 20 mm d'aluminium, la raison de la progression géométrique diminue au lieu de rester constante : cela est attribuable à une variation de la dureté du tube.

CHAPITRE IV

Constitution d'un faisceau de rayons X.

Guilleminot a déjà abordé cette question à l'aide de son fluoromètre. Il détermine pour chaque faisceau la courbe limite vers laquelle il tend par filtrage à travers des filtres d'aluminium très épais.

« Prenant cette courbe limite comme composante supérieure et tenant compte du plus ou moins de rapidité avec laquelle un faisceau augmente son coefficient moyen de pénétration quand il a été antérieurement plus ou moins filtré, j'ai cherché à déterminer, dit-il, un ensemble de dix logarithmiques pour chaque faisceau dont la somme pour chaque abscisse corresponde, du commencement à la fin de la courbe, aux données expérimentales.

Je suis ainsi arrivé à une notion approximative de la constitution de chaque faisceau, chacune des dix logarithmiques entrant dans sa composition représentant la courbe moyenne des faisceaux simples composants les plus voisins et se trouvant d'autant plus rapprochée de la logarithmique immédiatement supérieure ou immédiatement inférieure que le nombre des faisceaux simples dans cette région du spectre est plus considérable. » (Extrait des *filtres en radiothérapie; Annales d'Electrobiologie et de radiologie*, Février 1909).

J'ai cherché aussi à déterminer, par le raisonnement basé sur l'expérience, la constitution du faisceau de rayons X.

Prenons l'expérience N° 4, nous la considérerons dans l'intervalle de 1 à 17 mm d'aluminium. Nous nous croyons autorisé à modifier légèrement certains nombres de la colonne : « Rapport d'un temps au précédent ».

Nous écrirons ces nombres dans un ordre toujours décroissant, tandis que certains trop petits donnés par l'expérience étaient avant de plus grands.

De plus, dans une colonne nous inscrirons les quantités transmises calculées d'après les nombres modifiés.

Une dernière colonne donnera le coefficient de transmission, c'est-à-dire le nombre par lequel il faut multiplier la quantité de rayons X qui a traversé n millimètres d'aluminium pour avoir celle qui traversera $(n + 1)$ millimètres.

Ce coefficient de transmission est l'inverse du nombre correspondant écrit dans la quatrième colonne.

Quant. transmise calculée	Epais. d'al.	Rapport d'un temps au précédent		Coefficient de transmis.
		Mesure	Sensiblement modifié	
100	0			
55.5	1	1.8	1.8	0.555
38.5	2	1.44	1.44	0.697
31.3	3	1.23	1.23	0.813
25.8	4	1.18	1.21	0.826
21.8	5	1.21	1.18	0.848
18.9	6	1.15	1.15	0.869
16.5	7	1.14	1.14	0.878
14.7	8	1.12	1.12	0.892
13.2	9	1.11	1.11	0.900
11.9	10	1.10	1.10	0.917
10.9	11	1.08	1.09	0.925
10.0	12	1.08	1.08	0.925
9.2	13	1.09	1.08	0.925
8.5	14	1.09	1.08	0.925
8.0	15	1.09	1.08	0.925
7.6	16	1.10	1.08	0.925
6.9	17	1.08	1.08	0.925

On voit que le coefficient de transmission reste le même à partir de 11 mm. d'aluminium : donc si l'on appelle I_n la quantité transmise par n millimètres, n étant plus grand que 11, I_{11} la quantité transmise par 11 mm, 0.925 étant le coefficient de transmission, on a la formule :

$$I_n = I_{11} \cdot 0,925^{(n-11)}$$

Et le faisceau se propage à travers des épaisseurs d'aluminium supérieures à 11 mm., comme s'il était homogène.

Calculons en partant de $I_{11} = 10,9$

quelle serait la quantité transmise du faisceau de coefficient 0,925,

par 10, 9, 8, 7. . . 1 — 0. mm. d'aluminium nous obtenons les nombres suivants :

Epaiss. d'aluminium	Quant. transmise
0	24.5
1	22.7
2	21.1
3	19.6
4	18.2
5	16.9
6	15.7
7	14.6
8	13.6
9	12.6
10	11.6
11	10.9
12 etc.	10 etc.

Construisons une courbe avec ces données, c'est une logarithmique.

Nous dessinerons aussi la courbe expérimentale modifiée. Les coordonnées sont l'intensité en abscisse et l'épaisseur d'aluminium en ordonnée.

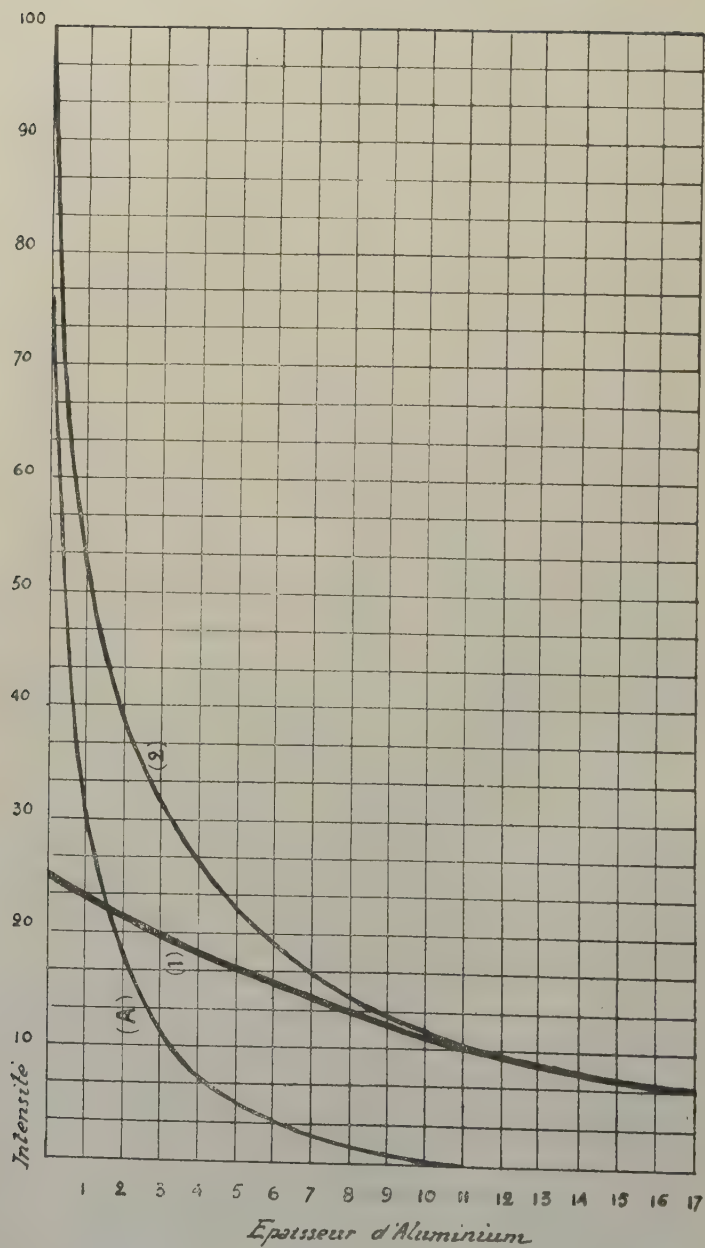
Ceci posé, nous pouvons faire les hypothèses suivantes :

1° Ou supposer que le coefficient de transmission croît toujours et tend vers 1. Dans ce cas, il faudrait admettre qu'à partir d'une certaine épaisseur traversée, les erreurs dans l'évaluation des grandeurs sont de l'ordre des grandeurs à mesurer, ce qui ferait qu'on trouve un coefficient de transmission constant après une épaisseur d'aluminium suffisante. Le faisceau serait alors la somme d'un grand nombre de faisceaux monochromatiques à intensité faible; pour avoir une idée de sa composition, il faudrait calculer une série de logarithmiques dont la somme soit égale à l'intensité trouvée expérimentalement : c'est ce qu'à fait Guilleminenot;

2° Ou supposer que le coefficient de transmission tend vers une limite déterminée qui dépend de l'étincelle équivalente.

Dans ce cas, nous pouvons admettre que le faisceau de coefficient de transmission 0.925 existait dans le faisceau total donné par l'expérience. Nous appellerons le faisceau de coefficient de 0.925 : faisceau principal.

Faisons la différence respectivement entre chaque intensité du faisceau



Expérience No 4.

(1) - Faisceau principal, logarithmique 0,925.

(2) - Courbe expérimentale modifiée.

(A) - Courbe (A).

L'intensité de (2) est égale à l'intensité de (1) + l'intensité de A.

total donné par l'expérience de l'intensité correspondante du faisceau principal. Nous obtenons :

0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	75.5
1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	32.8
2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17.5
3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11.7
4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7.6
5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4.9
6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.2
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.1
8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.1
9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.6
10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.2

Construisant une courbe avec ces données, cette courbe A représente un faisceau de rayon X et notre faisceau primitif se trouve maintenant être la somme de deux faisceaux : le faisceau principal et le faisceau représenté par la courbe A.

Si le rayonnement est composé d'un certain nombre de faisceaux monochromatiques et si l'on admet que le faisceau principal a existé dans le rayonnement avant le passage à travers les filtres, nous devons supposer que la courbe A est une somme de logarithmiques, dont chacune représentera un faisceau homogène.

L'intensité de chacun de ces faisceaux homogènes sera relativement petite par rapport à l'intensité du faisceau principal.

Nous aurons avec les hypothèses faites, décomposé notre faisceau en une somme de faisceaux monochromatiques (faisceau principal + faisceaux monochromatiques ayant pour somme A), et le rayonnement donné par un tube radiogène pourra être considéré comme hétérogène, conformément à l'opinion généralement admise.

Cependant, n'y aurait-il pas lieu de rappeler l'opinion de Walter, qui considérait le faisceau issu d'un tube à rayons X comme homogène?

Cet auteur explique l'hétérogénéité apparente du faisceau par l'influence de l'atome absorbant qui transforme le rayonnement en un rayonnement de coefficient de pénétration plus grand.

Dans cette hypothèse, le coefficient de transmission devrait tendre vers 1 et ne pas rester constant à partir d'une certaine épaisseur traversée.

Nous proposons l'explication suivante :

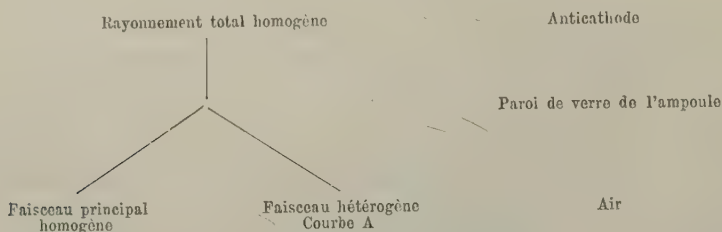
Les rayons X issus de l'anticathode se propagent d'abord à l'intérieur

de l'ampoule, puis à travers l'épaisseur du verre de l'ampoule, enfin dans l'air.

Tant qu'il n'a pas touché la paroi de verre de l'ampoule, le rayonnement est homogène.

En traversant le verre de l'ampoule, une partie est transformée en rayons secondaires qui donneraient le faisceau représenté par la courbe A. Ce faisceau est hétérogène : en effet, les rayons secondaires dont il est composé sont produits par des atomes situés dans des plans différents, l'épaisseur du verre de l'ampoule n'étant pas négligeable ; l'autre partie continue son chemin et constitue ce que nous avons appelé le faisceau principal.

Le schéma suivant résume notre hypothèse :



L'hétérogénéité du faisceau serait due aux rayons secondaires émis par le verre de l'ampoule, et pour se mettre à l'abri de ces rayons, il faut filtrer suffisamment ou éloigner le récepteur assez loin de l'ampoule.

Certaines expériences sur la transmission des rayons par l'air faites à grande distance et l'étude de l'absorption des rayons X par divers métaux semblent confirmer cette manière de voir.

=====

CONCLUSIONS

Nous groupons ci-dessous les principaux résultats auxquels nous sommes arrivés par l'étude électroscopique des rayons X :

1° Nous avons justifié l'emploi de l'électroscope comme instrument de mesure des quantités de rayons X de même qualité. Les sections différentes d'un faisceau de rayons X agissent sur l'électroscope proportionnellement à leur surface;

2° Nous avons vérifié que de 0 à 1,5 milliampères si l'étincelle équivalente reste constante, la quantité de rayons X croît proportionnellement au nombre de milliampères du courant qui traverse l'ampoule radiogène ;

3° Avec les deux installations et les ampoules avec lesquelles nous avons opéré entre 0 et 1,5 milliampères et de 0 à 20 centimètres d'étincelle équivalente, on a la formule (1) :

$$E I T = K \quad (1)$$

l'anticathode étant toujours à la même distance du plateau de l'électroscope.

E étant l'étincelle équivalente en centimètres;

I — l'intensité du secondaire en milliampères;

T — le temps de chute de la feuille d'aluminium;

K — une constante dépendant de l'ampoule et de l'électroscope.

Cette formule montre que l'énergie électrique, nécessaire à la production d'une quantité de rayons X qui par ionisation enlève toujours la même charge à l'électroscope, ne varie que si l'on emploie des ampoules différentes;

4° Si l'on admet, avec les réserves que nous avons faites, que des

(1) Ce travail était à l'impression lorsque nous avons pu expérimenter avec de nouvelles ampoules; il résulte, de ces expériences, que la formule se vérifie d'une manière satisfaisante entre 5 et 17 centimètres d'étincelle.

temps de décharge égaux de l'électroscope correspondent à des quantités égales de rayons X, l'inverse du temps de chute donne la quantité de rayons Q et la formule (1) peut s'écrire :

$$Q = \frac{I}{K} E I$$

formule qui donne la quantité Q si l'on connaît le coefficient K, que l'on peut déterminer une fois pour toutes, pour l'ampoule considérée, E se mesurant au spintermètre, I au milliampéremètre.

Nous avons signalé l'application à la photométrie des ampoules : une ampoule donne d'autant plus de rayons que K est plus petit ;

5° Dans l'étude de la transmission des rayons X, à travers diverses épaisseurs d'aluminium, nos résultats sont concordants avec les résultats obtenus antérieurement, par d'autres méthodes.

Le rayonnement se comporte comme s'il était formé d'un certain nombre de faisceaux inégalement absorbables.

Cependant, après filtrage suffisant, il se comporte comme s'il était monochromatique, puisque les temps de chute correspondant aux épaisseurs de n et $n + 1$ mm. sont dans un rapport constant quel que soit n , pourvu qu'il soit suffisamment grand, et son intensité peut se représenter par une logarithmique

$$I_n = I_k M^{(n-k)}$$

I_n étant la quantité de rayons X après n mm. d'épaisseur traversée.

I_k — — — — — k mm. — — — —

M le coefficient de transmission, qui est constant après K mm. d'épaisseur traversée, n'étant plus grand que K.

M, qui est un nombre plus petit que 1, n'est pas le même pour toutes les longueurs d'étincelle et il tend vers 1 à mesure que cette longueur croît.

Dans nos expériences K était égal à 11, on voit donc que pour des épaisseurs égales à 12, 13... la quantité de rayons transmises est égale au produit de la quantité transmise par 11 mm. d'Al, et du coefficient M à la puissance 12-11 13-11...

6° Certains faits semblent démontrer que le faisceau donné par une ampoule est homogène lorsqu'il quitte l'anticathode et qu'il ne paraît hétérogène que par suite des transformations qu'il subit en traversant le verre de l'ampoule.

Mais sur ce point il convient encore de faire toutes réserves car les expériences ne sont pas encore assez nombreuses.

7° Ces recherches pour être généralisées demandent à être reprises avec une installation plus puissante que la nôtre, dont le principal défaut était que le nombre des interruptions du courant primaire n'était pas indépendant du courant qui passait dans la bobine.

Vu :

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
J. CLUZET.

Vu :

LE DOYEN,
L. HUGOUNENQ.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 5 Novembre 1909.

Le Recteur :

PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ.
P. JOUBIN.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE DE LA 1^{re} PARTIE

- RÖNTGEN. — *Sitzungsberichte der Würzburger physik. med. Gesellsch.*, déc. 1895 et Mars 1896. *Journ. de Phys.*, 1896.
- BENOIST et HURMUZESCU. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1896.
- DUFOUR. — *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, 4^e période, 1896.
- RIGHI. — Rendiconti della R. Ac. de Bologna, 1876.
- J.-J. THOMSON. — *Proced. royal Soc.*, 1896.
- PERRIN. — Thèse de Doctorat, Paris, 1897.
- M. CLELLAND. — *Proced. of Royal Society*, 1897.
- CHILD. — *The Physical Review*, 1897.
- VILLARI. — Rendiconti d. Ak. dei Lincei, 1899.
- SAGNAC. — Comptes rendus, 1897. Thèse de Doctorat, 1901.
- BENOIT. — *Journ. de Phys.*, 1901.
- BERGONIÉ. — *Archives élect. médic.*, 1907, N° 208.
- HAGA. — *Archives néerlandaises*, t. XII et Anal. in *Journ. de Phys.*, 1908.
- BARKLA. — *Philosophical Magazine*, 1906, et Anal. in *Journ. de Phys.*
- HARET. — Rapport du Congrès international d'Electrologie et de Radiologie, Amsterdam, 1908.
- TURCHINI. — Thèse de doctorat, Paris, 1905, et Comptes rendus, 1905.
- VILLARD. — *Archives d'électricité médicale*, Sept. 1908.
- KLINGELFUSS. — Comptes rendus du Congrès international d'Electrologie et de Radiologie, Amsterdam, 1908.
- DORN. — *Münchener Medizinische Wochenschrift*, Avril 1909.
-

BIBLIOGRAPHIE DE LA 2^e PARTIE

- RÖNTGEN. — *Sitzungsberichte der Würzburger Physik. med. Gesellschaft*, 1895. traduction in *Journ. de Phys.*, 1896.
- BENOIST à HURMUZESCU. — Nouvelles recherches sur les rayons X. *Journ. de Phys.*, 1896, et Comptes rendus, 1896.
- MAYER. — *The American Journ. of Sciences*, 1896. Analysé in *Journ. de Phys.*, 1897.
- S.-P. THOMPSON. — Expériences avec les rayons Röntgen, *Philos. Mag.* 1897. Analysé in *Journ. de Phys.*

- ROITI. — Radiochrose et autres recherches sur les rayons X, *Rendiconti de Acc. dei Lincei*, Juillet-Août 1896. Analysé in *Journ. de Phys.*
- RUTHERFORD. — Sur l'absorption des rayons de Röntgen par les gaz et les vapeurs, *Philosophical Mag.*, 1897. Anal. in *Journ. de Phys.*
- VAN AUBEL. — *Journ. de Phys.*, 1897.
- HUMPHREYS. — Sur l'absorption des rayons Röntgen, *Philos. Mag.*, 1897, et *Journ. de Phys.*
- RÖNTGEN. — Nouvelles observations sur les propriétés des rayons X. Analysé in *Journ. de Phys.*, 1880.
- J.-A.-M. CLELLAND. — Absorption sélective des rayons de Röntgen. *Proc. of the Royal Soc. of London*, 1897.
- AGANOFFROFF. — Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1897.
- SAGNAC. — *Journ. de Phys.*, 1899, et thèse de doctorat, 1901.
- BENOIST. — *Journ. de Phys.*, 1901.
- CLUNG et MAC INTOSH. — *Philos. Mag.*, 1902, et Anal. in *Journ. de Phys.*
- HEBERT et G. REYNAUD. — Sur l'absorption spécifique des rayons X par les sels métalliques (Comptes rendus, 1902).
- HOLTSMARK. — *Drude's Annalen der Physik*, 1903. Anal. in *Journ. de Phys.*, 1903.
- WALTER. — Loi d'absorption des rayons X d'après Röntgen et explication de cette loi (*Annalen der Physik*, 1906), Anal. in *Journ. de Phys.*
- KIENBÖCK. — *Fortschritte auf den Gebiete der Röntgenstrahlen*, 1906.
- BORDIER. — Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences, 1908.
- GUILLEMINOT. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1908 et 1909 (*Arch. d'Elect. méd.*, 1909; *Annales d'électrobiologie*, 1909; Bulletin de la Société de Radiologie de Paris, 1909; Société de Biologie, 1908)
- BORDIER. — Bulletin de la Société de Radiologie de Paris, 1909. *Technique radiothérapique*, 1909.
- BELOT. — Bulletin de la Société de Radiologie, 1909.
- DORN. — *Zur Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen* (*Münchener Medizinische Wochenschrift*, N° 14, 1909).
-

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

	Pages.
Introduction	7
CHAP. I. — Historique de la méthode électroscopique	9
CHAP. II. — Description des appareils et manuel opératoire	12
CHAP. III. — Justification de l'emploi de l'électroscope comme instrument de mesure des quantités de rayons X	17
CHAP. IV. — Variation de la quantité des rayons X avec l'intensité du secondaire, la qualité restant constante	23
CHAP. V. — Variation de la quantité de rayons X avec la longueur d'étincelle équivalente de l'ampoule	26

DEUXIÈME PARTIE

Absorption et transmission du rayon de Röntgen à travers l'aluminium	40
CHAP. I. — Aperçu historique	41
CHAP. II. — Manuel opératoire et appareils	45
CHAP. III. — Etude de la transmission des rayons à travers l'aluminium	49
CHAP. IV. — Constitution d'un faisceau de rayons X	61
CONCLUSIONS.	67
Bibliographie de la 1 ^{re} partie	70
— 2 ^{me} partie	70

